IOCENS'21

International Online Conferences On Engineering and Natural Sciences

FULL TEXTS BOOK



5-7 July 2021

Gümüşhane - Turkey

Edited by

Prof. Dr. Salim Serkan NAS
Prof. Dr. Necati ÇELİK
Assoc. Prof. Dr. Ertekin ÖZTEKİN
Asst. Prof. Dr. Selim KAYA

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ YAYINLARI NO: 48

ISBN: 978-605-4838-29-5

Publication Date:13 / 06 / 2022

INTERNATIONAL ONLINE CONFERENCES ON

ENGINEERING AND NATURAL SCIENCES

(IOCENS'21)

JULY 5-7 2021

GUMUŞHANE UNIVERSITY

GUMUŞHANE – TURKEY

FULL TEXTS BOOK

Organising Comittee

Prof. Dr. Halil İbrahim ZEYBEK — Rector of Gümüşhane University (Honorary President of Organising Comittee)

Prof. Dr. Salim Serkan NAS — Gümüşhane University (Head of Organising Comittee)

Prof.Dr. Abdurrahman DOKUZ

Prof.Dr. Mehmet MERDAN

Prof.Dr. Nafız MADEN

Prof.Dr. Necati ÇELİK

Prof.Dr. Tufan ÇAKIR

Assoc. Prof. Dr. Abdullatif ÇALIŞKAN

Assoc. Prof. Dr. Bilge BAHAR

Assoc. Prof. Dr. Cem YÜCEL

Assoc. Prof. Dr. Demet İSKENDEROĞLU

Assoc. Prof. Dr. Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU

Assoc. Prof. Dr. Ertekin ÖZTEKİN

Assoc. Prof. Dr. Fatih DÖNER

Assoc. Prof. Dr. Harun GÜNEY

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Engin BAŞOĞLU

Assoc. Prof. Dr. Zeynep BAŞKAN TAKAOĞLU

Asst. Prof. Dr.Gökhan KÜLEKÇİ

Asst. Prof. Dr.ibrahim DÜZGÜN

Asst. Prof. Dr.Mehmet Ali GÜCER

Asst. Prof. Dr.Mehmet BAŞOĞLU

Asst. Prof. Dr. Oğuz Yunus SARIBIYIK

Asst. Prof. Dr.Özkan BİNGÖL

Asst. Prof. Dr.Rahim ŞİBİL

Asst. Prof. Dr.Recep ÇAKMAK

Asst. Prof. Dr.Selim KAYA

Asst. Prof. Dr. Tuba ACET

Dr. Serdar KESKİN

Dr. Berna GENÇ

Dr. Gülten AKTAŞ

Dr. Halil ANAÇ

Dr. Halil İbrahim ODABAŞ

Dr. Hasan EKER

Dr. Şeyda Merve KARATAŞ

Dr. Yusuf KAYA

Res. Asst. Burhan Baha BİLGİLİOĞLU

Res. Asst. Ahmet Dündar ŞEN

Res. Asst. Ahmet YAVUZDOĞAN

Res. Asst. Arda AKDOĞAN

Res. Asst. Betül KOŞMAZ

Res. Asst. Büşra KÜÇÜKUĞURLU

Res. Asst. Dursun EKMEKCİ

Res. Asst. Fatih ŞENASLAN

Res. Asst. Halil İbrahim YÜKSEK

Res. Asst. Hülya YILMAZ

Res. Asst. İlker ERKAN

Res. Asst. Kadir SÜNNETÇİ

Res. Asst. Kaşif Furkan ÖZTÜRK

Res. Asst. Mehmet GÜVERCİN

Res. Asst. Muharrem TAŞDEMİR

Res. Asst. Murat ŞAN

Res. Asst. Ömer KARPUZ

Res. Asst. Özge KARAASLAN

Res. Asst. Özhan BİNGÖL

Res. Asst. Sedanur MARABAOĞLU

Res. Asst. Yasemin BEKER

Res. Asst. Nagihan ŞAHİN

Scientific Comittee

Architecture Scientific Committee

Aylin ARAS	Bursa Technical University
Funda KURAK AÇICI	Karadeniz Technical University
MURAT ÇAĞLAR BAYDOĞAN	Erciyes University
Özge İSLAMOĞLU	Karadeniz Technical University
Şengül YALÇINKAYA	Karadeniz Technical University

Civil Engineering Scientific Committee

Abdulkadir Cüneyt AYDIN	Atatürk University
Adem AKPINAR	Bursa Uludağ University
Adem BAYRAM	Karadeniz Technical University
Adem DOĞANGÜN	Bursa Uludağ University
Ahmet Can ALTUNIŞIK	Karadeniz Technical University
Ahmet Şahin ZAİMOĞLU	Atatürk University
Ahmet TORTUM	Atatürk University
Alper POLAT	Munzur University
Ankit GUPTA	Indian Institute of Technology
Ayşe DALOĞLU	Karadeniz Technical University
Ayşegül Güneş SEFEROĞLU	Gümüşhane University
Bahadır YILMAZ	Bursa Technical University
Barış SEVİM	Yıldız Technical University
Berivan Yılmazer POLAT	Munzur University
Burak Kaan CIRPICI	Erzurum Technical University
Cahit GÜRER	Afyon Kocatepe University
Egemen ARAS	Bursa Technical University
Emine ÇORUH	Gümüşhane University
Emre ÖZYURT	Gümüşhane University
Ertekin ÖZTEKİN	Gümüşhane University
Fatih YILMAZ	Bayburt University
Gökhan DEMİR	Samsun Ondokuzmayıs University
Hacı Süleyman GÖKÇE	Bayburt University
İbrahim AYDOĞDU	Akdeniz University
İlker TEKİN	Karabük University
Iman Hajirasouliha	University of Sheffield
Jungyeol HONG	The University of Seoul
Korhan ÖZGAN	Karadeniz Technical University
Mehmet Tevfik SEFEROĞLU	Gümüşhane University
Metin HÜSEM	Karadeniz Technical University
Metin İPEK	Sakarya University
Metin Mutlu AYDIN Samsun	Ondokuzmayıs University
Muhammet Vefa AKPINAR	Karadeniz TechnicalUniversity
Muhittin TURAN	Bayburt University
Murat KANKAL	Bursa Uludağ University
Murat TÜRKÖZ	Eskişehir Osmangazi University
Murat YAYLACI	Recep Tayyip Erdoğan University
Mustafa ÇULLU	Gümüşhane University
Mustafa KARAŞAHİN	İstanbul Gelişim University
Onur ARAZ	Gümüşhane University
Osman KARA	Gümüşhane University
Ömer YÜKSEK	Karadeniz Technical University
Özlem ÇAVDAR	Gümüşhane University
Rahim ŞİBİL	Gümüşhane University
Ramazan LİVAOĞLU	Bursa Uludağ University
Salim Serkan NAS	Gümüşhane University
Selçuk Emre GÖRKEM	Erciyes University
Selim PUL	Karadeniz Technical University
Serkan SUBAŞI	Düzce University
Sreekanta DAS	University of Windsor
Şemsettin KILINÇASLAN	Süleyman Demirel University
Şenol GÜRSOY	Karabük University
Şükrü YETGİN	Gümüşhane University
Talat Şükrü ÖZŞAHİN	Karadeniz Technical University
Tufan ÇAKIR	Gümüşhane University
Tuğçe ANILAN	Karadeniz Technical University
Ümit UZMAN	Avrasya University
Yetiş Şazi MURAT	Pamukkale University

Yong C. WANG	University of Manchester
Yusuf AYVAZ	Yıldız Technical University
Yusuf KAYA	Gümüşhane University
Zekai ANGIN	Karadeniz Technical University

Electrical and Electronics Engineering Scientific Committee

Abdülvehhab KAZDALOĞLU	Kocaeli University
Adel M. SHARAF	University of New Brunswick
Ahmet ÇAKANEL	Gümüşhane University
Ali Bekir YILDIZ	Kocaeli University
Ayşegül UÇAR	Fırat University
Bekir ÇAKIR	Kocaeli University
Bora ALBOYACI	Kocaeli University
Ebru KARAKÖSE	Fırat University
Emhemed ELBAKUSH	Aldar University
Emre ÖZKOP	Karadeniz Technical University
Engin ÖZDEMİR	Kocaeli University
Erdinç ŞAHİN	Karadeniz Technical University
Ersoy BEŞER	Kocaeli University
Esra KANDEMİR BEŞER	Kocaeli University
Gökay BAYRAK	Bursa Technical University
Gökhan ÇETİN	Gümüşhane University
Hacı BODUR	Yıldız Technical University
Hacı Mehmet GÜZEY	Erzurum Technical University
İbrahim Gürsu TEKDEMİR	Bursa Technical University
İlhan BAŞTÜRK	Aydın Adnan Menderes University
İsmail Hakkı ALTAŞ	Karadeniz Technical University
Kenan YANMAZ	Giresun University
Korhan KARAARSLAN	Kocaeli University
Mehlika ŞENGÜL KARAARSLAN	Kocaeli University
Mehmet Siraç ÖZERDEM	Dicle University
Mehmet UÇAR	Düzce University
Mehmet Zeki BİLGİN	Kocaeli University
Melih KUNCAN	Siirt University
Mesut MELEK	Gümüşhane University
Muhammed Taha KÖROĞLU	Gümüşhane University
Muhsin Tunay GENÇOĞLU	Fırat University
Murat ÜNLÜ	Kocaeli University
Mustafa Engin BAŞOĞLU	Gümüşhane University
Mustafa Ergin ŞAHİN	Recep Tayyip Erdoğan University
Mustafa Şinasi AYAS	Karadeniz Technical University
Nassim Iqteit	Polytechnic University-Palestine
Nuran YÖRÜKEREN	Kocaeli University
Nurettin ABUT	Kocaeli University
Nurhan GÜNEŞ	Gümüşhane University
Oğuzhan ÇAKIR	Karadeniz Technical University
Onur Özdal MENGİ	Giresun University
Orhan KAPLAN	Gazi University
Özlem ÜNVERDİ	Yıldız Technical University
Recep ÇAKMAK	Gümüşhane University
Serhat DUMAN	Bandırma Onyedi Eylül University
Temel KAYIKÇIOĞLU	Karadeniz Technical University
Turgay DUMAN	Erzurum Technical University
Uğur ARİFOĞLU	Sakarya University
Yashar NADERAHMADİAN	University of Gulian
Yasin OĞUZ	Gümüşhane University
Yusuf SEVİM	Karadeniz Technical University
Zehra URAL BAYRAK	Fırat University

Energy Systems Engineering Scientific Committee

Burcu SAVAŞKAN	Karadeniz Technical University
Cemalettin AYGÜN	Karadeniz Technical University
Mehmet BAŞOĞLU	Gümüşhane University
Vagif NEVRUZOĞLU	Recep Tayyip Erdoğan University

Environmental Engineering Scientific Committee

Adem AKPINAR	Bursa Uludağ University
Adem BAYRAM	Karadeniz Technical University
Egemen ARAS	Bursa Technical University
Eren YILDIZ GEYHAN	Maltepe Municipality

Mehmet ÖZ	Gümüşhane University
Nihat TURSUN	Malatya Turgut Özal University
Rahim ŞİBİL	Gümüşhane University
Salim Serkan NAS	Gümüşhane University
Selim ŞEN	Gümüşhane University
Sema ARIMAN	Samsun University
Tuğçe ANILAN	Karadeniz Technical University
Emine BAŞTÜRK	Aksaray University

Food Engineering Scientific Committee

Abdullah KURT	Selçuk University
Ahmet AYAR	Sakarya University
Ahmed MENEVŞEOĞLU	Gümüşhane University
Ali GÖNCÜ	Aydın Adnan Menderes University
Ali GÜNDOĞDU	Karadeniz Technical University
Bilge BAHAR	Gümüşhane University
Bülent ÇETİN	Atatürk University
Cemalettin BALTACI	Gümüşhane University
Duygu ÖZDEŞ	Gümüşhane University
Engin GÜNDOĞDU	Gümüşhane University
Fevzi TOPAL	Gümüşhane University
Fırat YILMAZ	Gümüşhane University
Furkan Türker SARICAOĞLU	BursaTechnical University
Gülcan ÖZKAN	Süleyman Demirel University
Hacer ÇOKLAR	Selçuk University
Halil İbrahim ODABAŞ	Gümüşhane University
Hasan YETİM	İstanbul Sebahattin Zaim University
Hatice ŞANLIDERE ALOĞLU	Kırklareli University
Hilal ÇOLAKOĞLU YENİAY	Gümüşhane University
Huri İLYASOĞLU	Gümüşhane University
İlkay KOCA	Ondokuz Mayıs University
İlkay TÜRKMEN ÖZEN	Gümüşhane University
İlyas ATALAR	Bolu Abant İzzet Baysal University
Kübra AKTAŞ	Karamanoğlu Mehmetbey University
Luis Rodriguez-Saona	The Ohio State University
Mehmet Fatih ERTUGAY	Erzincan Binali Yıldırım University
Mehmet AKBULUT	Selçuk University
Memnune ŞENGÜL	Atatürk University
Merve Tuğçe TUNÇ ODABAŞ	Gümüşhane University
Mustafa GÜRSES	Atatürk University
Mustafa ŞENGÜL	Atatürk University
Osman GÜL	Kastamonu University
Osman KOLA	Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University
Osman SAĞDIÇ	YıldızTechnical University
Samet ÖZTÜRK	Gümüşhane University
Şeyda Merve KARATAŞ	Gümüşhane University
Ümmügülsüm ERDOĞAN	Bayburt University
Zeynep AKŞİT	Erzincan Binali Yıldırım University

Genetics and Bioengineering Scientific Committee

Ahmet ADIGÜZEL	Atatürk University
Ahmet MENTEŞE	Karadeniz Teknik University
Azer ÖZAD DÜZGÜN	Gümüşhane University
Bahadır KOZ	Giresun University
Barbaros DİNÇER	Recep Tayyip Erdoğan University
Berna GENÇ	Gümüşhane University
Emine KEMİKLİOĞLU	Manisa Celal Bayar University
Güzide YÜCEBİLGİÇ	Çukurova University
İbrahim TURAN	Gümüşhane University
Kadriye ÖZCAN	Giresun University
Kağan KILINÇ	Gümüşhane University
Melda ŞİŞECİOĞLU	Atatürk University
Muhammad Amjad Ali	University of Agriculture, Faisalabad-Pakistan
Mustafa Özkan BALTACI	Atatürk University
Oğuz Yunus SARIBIYIK	Gümüşhane University
Orhan DEĞER	Karadeniz Teknik University
Ramazan BİLGİN	Çukurova University
Selim DEMİR	Karadeniz Teknik University
Sema MISIR	Cumhuriyet University
Serap YEŞİLKIR BAYDAR	İstanbul Gelişim University
Serkan KOLTAŞ	Çankırı Karatekin University
Serkan YAMAN	Gümüşhane University

Sibel IRMAK	University of Nebraska-Lincoln
Şeref AKAY	Gümüşhane University
Tuba ACET	Gümüşhane University
Yüksel ALİYAZICIOĞLU	Karadeniz Teknik University

Geological Engineering Scientific Committee

Abdurrahman DOKUZ	Gümüşhane University
Ahmet Feyzi BİNGÖL	Fırat University
Ahmet GÖKÇE	Sivas Cumhuriyet University
Alaaddin VURAL	Gümüşhane University
Arzu FIRAT ERSOY	Karadeniz Technical University
Ayberk KAYA	Recep Tayyip Erdoğan University
Aykut AKGÜN	Karadeniz Technical University
Ayşe ORHAN	Nevşehir Hacı Bektaş Veli University
Ayşen DAVRAZ	Süleyman Demirel University
Cem YÜCEL	Gümüşhane Üniversitesi
Ciğdem SAYDAM EKER	Gümüşhane University
Dicle BAL AKKAYA	Fırat University
Emre AYDINÇAKIR	Gümüşhane University
Enver AKARYALI	Gümüşhane University
Esra HATİPOĞLU TEMİZEL	Karadeniz Technical University
Fatma GÜLTEKİN	Karadeniz Technical University
Ferkan SİPAHİ	Gümüşhane University
Fin STUART	Scottish Universities Environmental Research Centre- United Kingdom
Hakan ERSOY	Karadeniz Technical University
Hasan ARMAN	United Arab Emirates University
Hulusi KARGI	Pamukkale University
Mehmet Ali GÜCER	Gümüşhane University
Muazzez ÇELİK KARAKAYA	Konya Teknik University
Münür Burhan SADIKLAR	Karadeniz Technical University
Necati KARAKAYA	Konya Teknik University
Nurullah HANİLÇİ	İstanbul University
Okay ÇİMEN	Munzur University
Orhan KARSLI	Recep Tayyip Erdoğan University
Raif KANDEMİR	Recep Tayyip Erdoğan University
Robert Moritz	University of Geneva- Switzerland
Selçuk ALEMDAĞ	Gümüşhane University
Serhat DAĞ	Gümüşhane University
Serdar KESKİN	General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA)
Yılmaz DEMİR	Recep Tayyip Erdoğan University
Yusuf Kaan KADIOĞLU	Ankara University
Zafer ASLAN	Balıkesir University

Geomatıcs Engıneerıng Scientific Committee

Adalet DERVİŞOĞLU	Istanbul Technical University
Aziz ŞİŞMAN	Ondokuz Mayıs University
Bahadır ÇELİK	Osmaniye Ata Korkut University
Emine TANIR	Karadeniz Technical University
Fatih DÖNER	Gümüşhane University
Fevzi KARSLI	Karadeniz Technical University
Fulya Başak SARIYILMAZ	Gümüşhane University
Gülten KARA	Karadeniz Technical University
Gordana JOVANOVSKA KAPLAN	Eskişehir Technical University
Hasan Tahsin BOSTANCI	Gümüşhane University
Hatice ÇATAL REİS	Gümüşhane University
Hediye ERDOĞAN	Aksaray University
İbrahim TİRYAKİOĞLU	Afyon Kocatepe University
Kemal ÇELİK	Gümüşhane University
Kourosh Khoshelham	University of Melbourne
Nizar POLAT	Harran University
Murat UYSAL	Afyon Kocatepe University
Mustafa ÜSTÜNER	Artvin Çoruh University
Mustafa ZEYBEK	Artvin Çoruh University
Oğuz GÜNGÖR	Karadeniz Technical University
Osman KIRTILOĞLU	University of Georgia
Osman ORHAN	Mersin University
Önder GÜRSOY	Cumhuriyet University
Ramazan Alpay ABBAK	Konya Technical University
Resul ÇÖMERT	Gümüşhane University
Sefa YALVAÇ	Gümüşhane University
Serkan DOĞANALP	Konya Technical University
Süleyman Sefa BİLGİLİOĞLU	Aksaray University

Şinasi KAYA	İstanbul Technical University
Tamer BAYBURA	Afyon Kocatepe University
Tayfun ÇAY	Konya Technical University
Uğur AVDAN	Eskişehir Technical University
Volkan YILDIRIM	Karadeniz Technical University
Yasemin ŞİŞMAN	Ondokuz Mayıs University
Yaşar Selçuk ERBAŞ	Gümüşhane University
Yusuf AŞIK	Gümüşhane University

Geophysical Engineering Scientific Committee

A. Sinan DEMİREL	İstanbul University
Ali ELMAS	Karadeniz Technical University
Ali Erden BABACAN	Karadeniz Technical University
Asım Oğuz ÖZEL	İstanbul University-Cerrahpaşa
Aysel ŞEREN	Karadeniz Technical University
Berna TUNÇ	Kocaeli University
Bülenç ORUÇ	Kocaeli University
Denizhan VARDAR	İstanbul University
Derman DONDURUR	Dokuz Eylül University
Ertan PEKŞEN	Kocaeli University
Emin CANDANSAYAR	Ankara University
Emin DEMİRBAĞ	İstanbul Technical University
Emin Uğur ULUGERGERLİ	Çanakkale Onsekiz Mart University
Eşref YALÇINKAYA	İstanbul University-Cerrahpaşa
Ethem GÖRGÜN	İstanbul University-Cerrahpaşa
Fadime SERTÇELİK	Kocaeli University
Ferhat ÖZÇEP	İstanbul University-Cerrahpaşa
Gülten AKTAŞ	Gümüşhane University
Günay ÇİFTÇİ	Dokuz Eylül University
Hakan ALP	İstanbul University-Cerrahpaşa
Hakan ÇINAR	Karadeniz Technical University
Hakan KARSLI	Karadeniz Technical University
İbrahim SERTÇELİK	Kocaeli University
İsmail KAPLANVURAL	Kocaeli University
Mahmut SARI	Gümüşhane University
Melda KÜÇÜKDEMİRCİ	İstanbul University-Cerrahpaşa / Lund University (Postdoctoral)
Mohammad R. GHASSEMİ	Research Institute for Earth Sciences
M. Nuri DOLMAZ	Süleyman Demirel University
Mustafa Kemal TUNÇER	İstanbul University-Cerrahpaşa
Mustafa SARIBUDAK	Environmental Geophysics Associates, Texas
Mustafa ŞENKAYA	Karadeniz Technical University
Muhittin ALBORA	İstanbul University-Cerrahpaşa
Nafız MADEN	Gümüşhane University
Naşide ÖZER	İstanbul University-Cerrahpaşa
Nilgün Lütfiye SAYIL	Karadeniz Technical University
Nurcan KAYA	İstanbul University-Cerrahpaşa
Nurdan SAYIN	İstanbul University-Cerrahpaşa
Nurten Ayten UYANIK	Isparta Uygulamalı Bilimler University
Okan TEZEL	İstanbul University-Cerrahpaşa
Onur TANİstanbul	University-Cerrahpaşa
Orhan POLAT	Dokuz Eylül University
Osman UYANIK	Süleyman Demirel University
Özlem MAKAROĞLU	İstanbul University-Cerrahpaşa
Rrapo ORMENİ	Polytechnic University of Tirana
Savaş CEYLAN	Institute of Geophysics,ETH Zurich, Switzerland
Sedat YILMAZ	Süleyman Demirel University
Sercan KAYIN	Gümüşhane University
Serkan ÖZTÜRK	Gümüşhane University
Suna ALTUNDAŞ	Gümüşhane University
Şerif BARIŞ	Kocaeli University
Tahir Serkan IRMAK	Kocaeli University
Tolga GÖNENÇ	Dokuz Eylül University
Turgay İŞSEVEN	İstanbul Technical University
Ünal DİKMEN	Ankara University
Z. Mümtaz HİSARLI	İstanbul University-Cerrahpaşa

Mathematical Engineering Scientific Committee

Aslı BEKTAŞ KAMIŞLIK	Recep Tayyip Erdoğan University
Bahadır Özgür GÜLER	Karadeniz Technical University
Carla M.A. PINTO	Polytechnic Institute of Porto
Charyyar ASHYRALYYEV	Gümüşhane University
Devran YAZIR	Karadeniz Technical University

Esra Öztürk SÖZEN	Sinop University
Fatma ALTUN	Gümüşhane University
Fikri GÖKPINAR	Gazi University
Funda KARAÇAL	Karadeniz Technical University
Gül Kaleli YILMAZ	Bursa Uludağ University
Halil ANAÇ	Gümüşhane University
İbrahim AKTAŞ	Karamanoğlu Mehmetbey University
İlker AKKUŞ	Kırıkkale University
LaleCONA	Gümüşhane University
Mehmet KUNT	Karadeniz Technical University
Mehmet MERDAN	Gümüşhane University
Mutlu DEDETÜRK	Gümüşhane University
Murat BEŞENK	Pamukkale University
Nihan GÜNGÖR	Gümüşhane University
Orhan KESEMEN	Karadeniz Technical University
Rıdvan ŞAHİN	Gümüşhane University
Selçuk Han AYDIN	Karadeniz Technical University
Serkan KADER	Niğde Ömer Halisdemir University
Şuayip YÜZBAŞI	Akdeniz University
Tülay KESEMEN	Karadeniz Technical University
Ümit ERTUĞRUL	Karadeniz Technical University
Valentina Emila BALAS	Aurel Vlaicu University of Arad
Vedat Suat ERTÜRK	Ondokuz Mayıs University
Yasemin SAĞIROĞLU	Karadeniz Technical University
Zafer BEKİRYAZICI	Recep Tayyip Erdoğan University
Zafer KÜÇÜK	Karadeniz Technical University

Mechanical Engineering Scientific Committee

Ahmed Kadhim Hussein	Babylon University, Babylon City, HIILA , IRAQ
Alperen TOZLU	Bayburt University
Aslıhan Kurnuç SEYHAN	Erzincan Binali Yıldırım University
Bayram ŞAHİN	Yıldız Technical University
Birol ŞAHİN	Recep Tayyip Erdoğan University
Buğra SARPER	Tarsus University
Bülent ÖZTÜRK	Karadeniz Technical University
Bünyamin AKSAKAL	Yıldız Technical University
Christoph SCHIFFERS	CemeCon AG, Germany
Ebru Emine ŞÜKÜROĞLU	Gümüşhane University
Ebru Öztekin KULOĞLU	Karadeniz Technical University
Emre YURTKURAN	Sivas University of Science and Technology
Faruk ÜNKER	Gümüşhane University
Fatih ERDEMİR	Karadeniz Technical University
Feray BAKAN	Sabancı University
Filiz KARABUDAK	Gümüşhane University
Hasan BAŞ	Karadeniz Technical University
Hasan GEDİKLİ	Karadeniz Technical University
Hasan SERİN	Çukurova University
Hayrettin AHLATCI	Karabük University
İlhan ÇELİK	Samsun University
Kemal KUVVET	Recep Tayyip Erdoğan University
Margaret STACK	University of Strathclyde-Glasgow, Great Britain
Mehmet ERTUĞRUL	Atatürk University
Mehmet GAVGALI	Atatürk University
Meltem SEZEN	Sabancı University
Murat ÇOLAK	Bayburt University
Musa Mutlu CAN	İstanbul University
Mustafa ÖZCANLI	Çukurova University
Ömer Necati CORA	Karadeniz Technical University
Özlem BARAN	Erzincan Binali Yıldırım University
Rasim İPEK	Ege University
Salih DURDU	Giresun University
Selahattin BUDAK	Gümüşhane University
Selçuk ATASOY	Giresun University
Suneel Kodambaka	University of California Los Angeles
Temel VAROL	Karadeniz Technical University
Uğur KEMİKLİOĞLU	Doğuş University
Yeliz PEKBEY	Ege University
Zeki AZAKLI	Gümüşhane University

Mining Engineering Scientific Committee

Ali Osman YILMAZ	Karadeniz Technical University
Ataç BAŞÇETİN	İstanbul University-Cerrahpaşa

Ayhan KESİMAL	Karadeniz Technical University
Bayram ERÇIKDI	Karadeniz Technical University
Deniz ADIGÜZEL	İstanbul University-Cerrahpaşa
Emine YOĞURTCUOĞLU	Niğde Ömer Halisdemir University
Eren KÖMÜRLÜ	Giresun University
Erol YILMAZ	Recep Tayyip Erdoğan University
Ersin Yener YAZICI	Karadeniz Technical University
Ferdi CİHANGİR	Karadeniz Technical University
Gökhan AYDIN	Karadeniz Technical University
Gökhan KÜLEKÇİ	Gümüşhane University
Hacı DEVECİ	Karadeniz Technical University
Hasan EKER	Gümüşhane University
İbrahim ALP	Karadeniz Technical University
İbrahim ÇAVUŞOĞLU	Gümüşhane University
Kerim AYDINER	Karadeniz Technical University
Metin DAVRAZ	Isparta University of Applied Sciences
Metin UÇURUM	Bayburt University
Raif KANDEMİR	Recep Tayyip Erdoğan University
Ramazan ÇOMAKLI	Niğde Ömer Halisdemir University
Sair KAHRAMAN	Hacettepe University
Serdar YAŞAR	Karadeniz Technical University
Serkan TÜYLÜ	İstanbul University-Cerrahpaşa
Tugba TÜRK	Karadeniz Technical University
Victor Tenorio	University of Arizona, Tucson, Arizona, USA

Physics Engineering Scientific Committee

Abdullatif ÇALIŞKAN	Gümüşhane University
Ahmet ÇELİK	Giresun University
Akbar ABBASİ	Girne University
Ali GÜROL	Atatürk University
Ali KAYA	Gümüşhane University
Ali ÖZTÜRK	Karadeniz Technical University
Ayhan KARA	Giresun University
Bakiye ÇAKIR	Artvin Çoruh University
Betül GÜZELDİR	Atatürk University
Cafer MertYEŞİLKANAT	Artvin Çoruh University
Canan AKSOY	Karadeniz Technical University
Demet YILMAZ	Atatürk University
ErhanCENGİZ	Alanya Alaaddin Keykubat University
Erkan KIRIŞ	Recep Tayyip Erdoğan University
Fedai İNANIR	Yıldız Technical University
German Francisco de la Fuente	University of Zaragoza- Spain
Gökhan APAYDIN	Karadeniz Technical University
Hasan BALTAŞ	Recep Tayyip Erdoğan University
İbrahim DÜZGÜN	Gümüşhane University
İsmail POLAT	Karadeniz Technical University
Mahmut DOĞRU	YÖK
Marek Lankosz	AGH University of Science and Technology
Mehmet Altan KURNAZ	Kastamonu University
Mehmet BATI	Recep Tayyip Erdoğan University
Mehmet DEMİRCİ	Karadeniz Technical University
Mehmet ŞAHİN	Uşak University
Murat TOMAKİN	Recep Tayyip Erdoğan University
Necati ÇELİK	Gümüşhane University
Oğuz Kağan KÖKSAL	Adıyaman University
Pelin OTANSEV	İstanbul Üniversitesi
Salih YILMAZ	Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University
Selahattin ÇELEBİ	Iğdır University
Selim KAYA	Gümüşhane University
Sera İFLAZOĞLU	TÜBİTAK
Serdar DİZMAN	Recep Tayyip Erdoğan University
Serkan AKKOYUN	Sivas Cumhuriyet University
Sezai KÜTÜK	Recep Tayyip Erdoğan University
Songül AKBULUT ÖZEN	Bursa Technical University
Şükrü ÇELİK	Sinop University
Şükrü YILDIZ	Kırşehir Ahi Evran University
Tayfur KÜÇÜKÖMEROĞLU	Karadeniz Technical University
Uğur ÇEVİK	Defense Industry Presidency, K.T.Ü.
Uğur KÖLEMEN	Gaziosmanpaşa University
Yusuf ATALAY	Sakarya University
Zeynep BAŞKAN TAKAOĞLU	Gümüşhane University

Software Engineering Scientific Committee

Ahmet SOYLU	Oslo Metropolitan University, Norway
Ali ARI	İnönü University
Ali KARCI	İnönü University
Alperen EROĞLU	Gümüşhane University
Asaf VAROL	İstanbul Maltepe University
Aytuğ BOYACI	National Defense University
Bekir ŞAHİN	Norwegian University of Science and Technology (NTNU)
Davut HANBAY	İnönü University
Fatih KILIÇ	Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University
Güzin ULUTAŞ	Karadeniz Technical University
İlhan UMUT	Trakya University
Kemal ÖZKAN	Eskişehir Osmangazi University
Mehmet BAYGIN	Ardahan University
Mehmet KARAKÖSE	Fırat University
Murat AKPULAT	Gümüşhane University
Mustafa Nuri URAL	Gümüşhane University
Mustafa ULUTAŞ	Karadeniz Technical University
Mustafa ULAŞ	Fırat University
Özkan BİNGÖL	Gümüşhane University
Rüya ŞAMLI	İstanbul University
Yasin KAYA	Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University
Yunus SANTUR	Fırat University

İçindekiler

Aksaray İli 5 ve 6 Nolu Yağmursuyu Drenaj Bölgelerinin Jeoteknik Özelliklerinin İncelenmesi 14

Pareto Yaklaşımına Sahip Sürü Zekâsı Optimizasyonu ile 2-B Manyetotellürik Modelleme 24

Tunceli Elazığ Civarının Miyosen-Kuvaterner Tektonik Evriminin Paleomanyetik Veriler ile İncelenmesi 30

Kritik Metallerin İkincil Kaynaklardan Hidrometalurjik Yöntemler ile Kazanımı 36

Hazardous As(III) Removal From Pyrite Ash Using Central Composite Design 60

Andezit Kayaçların Aşınma Davranışlarının Hardgrove İndeks (HGI) Deney Yöntemiyle Tahmini 67

Investigating the Poverty Rates in Turkey with the Geographically Weighted Regression model 76

Comparing Quantile Regression and Quantile Random Forest Regression Models for Temperature Data 85

Estimation of Future Flux, Relative Permeability and Capillary Pressure from Counter-Current Spontaneous Imbibition Data 91

Robust Regression Estimation Based On The Exponential Power Series Distribution 104

Uzaktan Eğitim Sürecinin Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyeleri ve Öğrencileri Tarafından Değerlendirilmesi 114

Synthesis and Characterization of the Barium-Titanium-Peroxo-Hydroxide Single Source Precursor 123

Sanayideki Tesislerde Enerji Verimliliği 131

Bir Fotovoltaik Panelde Pasif Soğutucu Olarak Nanoakışkan Kullanımının Performans Üzerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi 140

Farklı Akışkanlar İle Pasif Soğutmanın Fotovoltaik Panelin Parametrelerine Etkisi 145

Determination of Nitrate and Nitrite Content of Various Parts of Sugar Beet (*Beta vulgaris* var. *Saccharifera* L.) 150

Alternative Curing Processes in Meat and Meat Products 156

Şeker Mısırında Farklı Organik Gübre Kaynaklarının Bazı Tarımsal ve Teknolojik Özellikler Üzerindeki Etkileri 164

Betalainler: Potansiyel Sağlık Yararlarına Genel Bir Bakış 177

Geleneksel Bir Ürün Olan Samaksa Yapımında Hidrokolloid Kullanımı 185

Enerji Performansı Yüksek Yapı Bağlamında Pasif Evler –Almanya/Berlin Örneği 200

Ahşap Yüksek Yapılar 213

Soğan ve Yumurta Kabuğunun Yalıtım Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi 233

Ekseni Doğrultusunda Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişlerin Navier Yöntemiyle Statik Analizi 243

Burdur Gölü Seviye Değişimlerinin İstatistiksel Analizi 252

Soil-Structure Interaction Effects on Dynamic Behavior of a Box Culvert 265

Examination of Dynamic Displacements of a Box Culvert Backfilled on One Side 274

Köprü Ayaklarının CFRP Sargı ile Güçlendirilmesinde Beton Sınıfının Etkisi: İncesu Köprüsü Örneği 286

Gölbaşı (Adıyaman) Arazi Kullanım Değişiminin Spektral Açı Haritalama Yöntemi ile Belirlenmesi 294

Sınıflandırma Yöntemi İle Corine Veri Tabanı İçin Bilgi Üretilmesi: Balıkesir, Bandırma İlçesi Örneği 306

Bir Ramsar Sulak Alanı Olan Seyfe Gölü'nün Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile İncelenmesi 316

Arnavutköy İlçesi Arazi Örtüsü Değişiminin LUCAS Sınıflandırma Sistemine Göre Belirlenmesi 327

Trabzon İli Kıyı Şeridi Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanımı Değişimlerinin Farklı Sınıflandırma Algoritmaları Kullanılarak Belirlenmesi 339

Sentinel - 2 Verilerinden Arazi Kullanım Haritalarının Üretilmesinde Farklı Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırılması 356

AVL Cruise M Programı ile Yakıt Hücreli Elektrikli Lokomotif Benzetimi 367

Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Güneş Panellerinden Beslenen AA/DA Yüklerin Kontrolü, Modellenmesi ve Benzetimi 379

Türkçe El Yazısı Karakterlerin Tanınmasına Yönelik Çalışmalar 390

Raylı Sistem Elektrifikasyonu Katener Sistemlerinde Pandül Verilerinin Yapay Sinir Ağları ile Tasarlanması 395

Comprehensive Analysis of Dual Sided Doped Memristor for Different Window Functions Using Non-Linear Drift Model 405

Non-Linear Drift Model Analyzing of Dual Sided Doped Memristor with Controllable ∏-Shaped Window Function 412

Designing Hardware Application of FBMC Transmitter 418

COVID-19 (Koronavirüs) Verilerin Analizi ve Veri Görselleştirilmesi 423

Stress Estimation Using ECG Signal Data of the Individual by Designed Deep Learning Approach 436

Yazılım Geliştirme Sürecinde Kural Esaslı Riskler 445

Yazılım Projelerinde Geliştiriciye Bağlı Riskler 458

Real-Time Wall Detection and Coloring in Android Platform 464

Görüntü İşleme Tekniği Kullanarak Yapı Eğimlerinin Tespit Edilmesi 471

Özellik Seçiminde Kullanılan Kolektif Yaklaşımın Müşteri Kayıp Analizinde Oluşturulan Model Performansına Etkisi 476

Konvolüsyonel Sinir Ağları(CNN)'nda Transfer Learning(VGG19), ResNet ve LeNet Modelleri ile Performans Karşılaştırmalı Görüntü Tespiti 486

Introducing Trees Obtained from Given Graph for Finding Independent Set: Greedy Approach 494

Color image noise reduction based on mean deviation 498

4D printed shape memory polymers and their applications 502

Experimental Investigation of Vibration Behavior of E-glass/epoxy and S2-glass/epoxy Composite Structures 515

Investigation of the Effect of the Welding Parameters on the Mechanical Properties of the Friction Stir Spot Welded Joints 522

AISI H13 Sıcak İş Takım Çeliğine Uygulanan Gaz Nitrasyon İşleminin Aşınma Davranışları Üzerindeki Etkisi 532

Investigation of Change in Properties of Al_2O_3 Water Based Nanofluids with Time 543

Eksenel Simetrik Bir Atmosferik Brülörde Enjeksiyon Parametrelerinin Hava-Yakıt Karışmasına Etkisinin Nümerik Modellenmesi 552

Farklı Isıl İşlem Uygulanmış Ti6Al4 Alaşımının İşlenebilirlik Davranışlarının İncelenmesi 563

Facility Layout Design and a Decision Support System Creation in a Furniture Manufacturing Plant 571

Al-Mg-Si Alaşımın Farklı Yükler Altında Sürtünme Performansının İncelenmesi 590

Soğuk Punta Birleştirme Yöntemi 601

Imaging of cells and bacteria for biomaterials researches with image processing technology 608

PEO Yöntemiyle AA2014 Alüminyum Alaşımı Üzerine Büyütülen h-BN/Al_2O_3 Nanokompozit Kaplamaların Aşınma Özelliklerinin Karakterizasyonu 613

FOL Deresi'nden Güneydoğu Karadeniz'e Desarj Olan Koheziv Sedimentlerin Deniz Ortamındaki Davranışları 627

Aksaray İli (Merkez) Evsel Atık Su Karakteristiğinin ve Debisinin Belirlenmesi 634

The Assessment of Environmental Impacts: A Case Study of a Crude Oil Refinery in Sudan 646

Motorlu Taşıtların Gürültü Kirliliğindeki Rolü ve Çözüm Önerileri 656

Indoor $PM_{2.5}$ Concentrations in Different Home Environments 667

Kereste Endüstrisinde Kullanılan Bazı Makinelerin Gürültü Seviyelerinin Belirlenmesi 683

Orman Köylülerine Verilen Ferdi Desteklerin Ekonomik ve Sosyal Açıdan Değerlendirilmesi 692

Türkiye'deki Ormanlık Alan, Servet ve Artımın Zamansal Değişiminin İrdelenmesi 699

Toprak Su ve Atmosferde Mikroplastikler 705

The Effect of Green Buildings on Indoor Air Quality 713

Comparison of Energy Efficiency of Biomass in Biohydrogen Production with Dark Fermentation Method 717

Treatment of Cosmetic Wastewater by Fenton Oxidation and Process Limitations 721

Türkiye' de Kurulan Bal Ormanlarının Bugünü, Geleceği ve Kırsal Kalkınmaya Etkisi 726

Türkiye'de 1974-2019 Yılları Arasında Kooperatiflere Verilen Kredilere Genel Bir Bakış 732

Kimyasal modifikasyon işleminde vakum uygulamasının odunun fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi 739

Association Between PM_{10} Concentrations and Hospital Admisssions for Asthma Disease in Canakkale, Turkey 749

Alüminyum Kompozit Sandviç (AKS) Panellerin Döşeme Olarak Kullanımının Maliyet Analizi 759

Aksaray İli 5 ve 6 Nolu Yağmursuyu Drenaj Bölgelerinin Jeoteknik Özelliklerinin İncelenmesi

Berker GÖKTAŞ[1,a], M. Murat KAVURMACI[2,b]
[1]*Aksaray Belediyesi Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü, Aksaray*
[2] *Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aksaray*

Öz
Bu çalışma kapsamında, Aksaray iline ait 5 ve 6 numaralı yağmursuyu toplama bölgelerinin zemin özellikleri 102 adet araştırma sondajından elde edilen jeoteknik ve hidrojeolojik veriler kullanılarak incelenmiştir. İnceleme alanı sınırları içerisinde gözlenen jeolojik birimler alüvyon ve alüvyon konisidir. Zemin genel olarak 10 metre derinliğe kadar, kahverengi - gri rengin egemenliğinde, ağırlıklı olarak kil, kumlu-siltli kil, killi-siltli ince kum, killi kumlu silt, çakıllı kum ve çakıllardan oluşan heterojen bir profil gösterir. İnce taneli zeminlerin oranı % 88, iri taneli zeminlerin oranı ise % 12'dir. Bölgede ince taneli zeminler genel olarak düşük plastisiteli kil (CL) türü zemin özelliği gösterir. İnce taneli zeminlerin % 94'ü aktif olmayan, orta sıkışabilir kil özelliğindedir. İnce taneli zeminlerin % 80'i orta şişme potansiyeline sahiptir. Terzaghi ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) yöntemlerine göre hesaplanan ortalama nihai taşıma gücü değerleri sırası ile 1,10 kg/cm^2 ve 2,17 kg/cm^2'dir. Zeminlerin bazı fiziksel özelliklerinin ortalama değerleri; doğal birim hacim ağırlığı 1,9 gr/cm^3, doğal su muhtevası % 22, likit limit % 43,4, plastik limit % 20,9 ve plastisite indeksi % 22,4 olarak hesaplanmıştır.
26 araştırma kuyusundan alınan su örnekleri üzerinde gerçekleştirilen su kimyası analiz sonuçlarına göre, yeraltı sularının ortalama karbondioksit, amonyum, magnezyum ve sülfat değerleri sırası ile 33,2, 0,64, 80,4 ve 372,9 mg/L olarak ölçülmüştür. CO_2 içerikleri açısından yeraltı sularının % 27'si, binaların temelinde bulunan beton ve donatılar için kuvvetli korozif etkinlik derecesine sahiptir. Bu oran SO_4 konsantrasyonu için %19 olarak hesaplanmıştır. Zemin ve hidrojeolojik özelliklere ait tematik haritalarının hazırlanmasında Kriging interpolasyon yöntemi kullanılmıştır. Hidrojeolojik ve zemin özellikleri açısından yüksek risk içeren alanlar inceleme alanının kuzeydoğu ve güney bölgelerinde konumlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Aksaray, Yağmursuyu Kollektör Hattı, Zemin Özellikleri, Yeraltı Suyu, Korozif Etkinlik

Investigation of Geotechnical Characteristics of the 5th and 6th Rainwater Drainage Regions in Aksaray Province

Berker GÖKTAŞ[1,a], M. Murat KAVURMACI[2,b]

[1]Aksaray Municipality Water and Sewerage Department, Aksaray

[2] Aksaray University, Engineering Faculty, Geological Engineering Department, Aksaray

Abstract

In this study, the soil properties of the 5th and 6th rainwater catchment areas of Aksaray province were investigated by using the geotechnical and hydrogeological data obtained from 102 exploration drilling. The geological units observed within the boundaries of the study area are alluvium and alluvial cones. Up to a depth of 10 meters, soil shows a generally heterogeneous profile consisting of aggregate and gravel, brown-gray color, clay, sandy-silty clay, clay-silty fine sand, loamy sand silt. The ratio of fine-grained soil is 88 % and coarse-grained soil is 12 %. Fine-grained soils in region generally show low plasticity silty clay (CL) type soil characteristics. 94% of the fine-grained soils are inactive - medium compressibility clay feature. 80% of fine grained soils have medium swelling potential. The mean ultimate bearing capacity of soils calculated according to the Terzaghi and Turkey building earthquake regulation (TBDY) methods are 1.10 kg/cm^2 and 2.17 kg/cm^2, respectively. Average values of some physical properties of soils; are natural unit weight 1.9 gr/cm^3, natural water content 22 %, liquid limit 43.4 %, plastic limit 20.9 % and plasticity index 22.4 %.

According to the results of water chemistry analysis performed on water samples taken from 26 research wells, the mean values of the carbon dioxide, ammonium, magnesium and sulphate concentrations in groundwaters have been measured 33.2, 0.64, 80.4 and 372.9 mg/L, respectively. In terms of CO_2 concentrations, 27 % of groundwaters have a strong corrosive efficiency ratio for concrete and reinforcements in the foundations of buildings. This ratio has been calculated as 19% for the SO_4 concentration. Kriging interpolation method was used in the preparation of thematic maps of soil and hydrogeological properties. Areas with high risk in terms of hydrogeological and soil features are located in the northeastern and southern regions of the study area.

Keywords: Aksaray, Rainwater Collector Line, Soil Properties, Groundwater, Corrosive Efficiency

GİRİŞ

Günümüzde özellikle zayıf ve uygun olmayan zeminlere inşa edilen alt yapılar, doğal afetler sonucunda ciddi hasarlara ve ekonomik kayıplara neden olabilmekte, hatta can kayıplarına yol açabilmektedir. Projelendirme aşamasında mühendislik yapılarının, ne tür zemin koşulları üzerine inşa edildiğinin tespit edilmesi oldukça önemlidir. Ülkemizde doğal afetlerin neden olduğu zararlar, yerleşim yerlerinde gerçekleştirilen inşaat çalışmalarında zemin özelliklerinin yeterince göz önünde bulundurulmadığını göstermiştir.

Kötü zemin koşulları veya zemin çalışmalarının göz ardı edilmesinin yanı sıra üst ve alt yapıları bekleyen bir diğer önemli tehlike yeraltı sularının korozif etkinliğidir (ÖÇKB, 2010). Yeraltı suyu içinde bulunan zararlı maddeler beton ve çelik donatıyı kimyasal açıdan etkileyerek yapı elemanının başta dayanımı olmak üzere diğer özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek kalitesini düşürmesine ve hizmet süresini azaltmasına sebep olur (Kavurmaci, 2016). Betonarme elemanlarda korozyon, beton ve/veya içine gömülü çelik donatının fiziko-kimyasal çevresel dış etkenler sonucu niteliklerini kaybetmeleri olarak da tanımlanabilir (Coşkun, 2016). Beton ve çelik donatının korozyon süreçleri birbirleri ile bağlantılı gelişmektedir ve her iki süreç birleşerek yapının daha hızlı yıpranmasına yol açmaktadır (Yılmaz, 2011). Betonarme yapılarda yaşanan bu sorunun önemi 1999 Gölcük depreminden sonra daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır. Gölcük depremi sonrası İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan rapora göre 55 bin konut incelenmiş ve yapıların %64'nün temelinde korozyon etkisiyle hasar meydana geldiği belirlenmiştir (Naimi ve Özdemir, 2020). Bu rapora göre yapılarda meydana gelen hasarların en büyük nedenini korozyon oluşturmaktadır.

Ulucan ve Ünlü (2001) sülfat, karbondioksit ve amonyum ile hazırlanmış çözeltilerde 28 günlük beton boruları 3 ay boyunca bekleterek yaptıkları deneylerde 750 mg/L ve daha yüksek miktardaki sülfat çözeltisinde bekletilmiş beton boruların mukavemetinin çok hızlı şekilde düştüğünü ve karbondioksit kaynaklı korozyonun, CO_2 düzeyinin 15 mg/L'yi geçtiğinde başladığını tespit etmişlerdir. Su betona verdiği zarar kadar içine gömülü olan çelik donatıya da zarar verebilmektedir (Kavurmaci, 2013). Bu sebeple yeraltı suyunun betona işleme derinliği, pas payı değerinden daha az olması gerekmektedir (Şimşek, 2005). Ancak bu şekilde donatının korozyona uğramasına engel olunarak yapının ömrü uzatılabilir.

Aksaray Merkez atıksu altyapısı genellikle birleşik olarak çalışmakta, yağışlarla gelen yüzey suları kanalizasyon altyapısı ile bertaraf edilmektedir. Son yıllarda artış gösteren nüfus ve inşaat faaliyetleri yüzünden şehir betonlaşmış, sokaklar asfalt ve kaldırım ile donatılmıştır. Bu yüzden yağış sularının toprak tarafından emilim oranı azalmış ve kanalizasyon altyapısının yükü artmıştır (ÇDR, 2018). Bu durum, normal şiddetteki yağışlarda dahi kanalizasyon altyapısının taşmasına, maddi ve manevi zararlara yol açmasına neden olmaktadır. Şehrin özellikle güney kesiminde topoğrafik olarak daha düşük kotlarda yer alan mahallelerde yağmursuyu hatları yapılarak ayrık sisteme geçilmesi gerekmektedir.

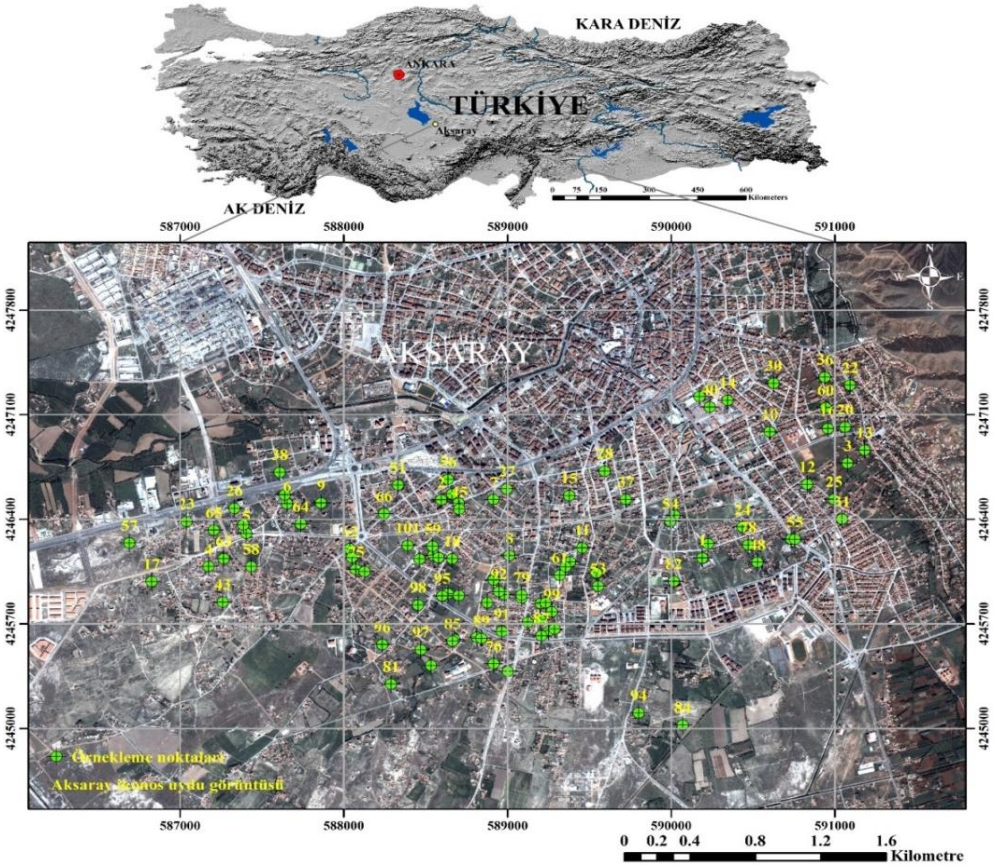
Bu çalışma kapsamında, Aksaray il merkezinde yağışlı mevsimlerde yağan yağmur ve eriyen kar sularının, yapılaşmanın yoğun olduğu bölgeler ile topoğrafik eğimin arttığı alanlarda oluşturduğu su birikintilerini engelleyecek 5 ve 6 numaralı yağmur suyu drenaj hatlarının geçeceği bölgelerin jeoteknik ve yeraltı suyunun korozif etkinlik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yağmur suyu drenaj hatlarının geçeceği güzergahlarda mevcut jeolojik durumun belirlenmesi ve karşılaşılabilecek jeolojik risklerin tespit edilmesi, drenaj hatlarının yapımı sırasında ve sonrasında karşılaşılabilecek zamansal ve maddi kayıpların giderilebilmesine veya azaltılabilmesine olanak sağlayacaktır.

MATERYAL ve METOT

İnceleme alanında yapılan ortalama derinliği 15 m olan 102 adet araştırma sondaj çalışmasından elde edilen jeoteknik veriler, Excell ortamında derlenmiş ve sınıflamaları yapılmıştır. Düzenlenen ve sınıflandırılan veriler ArcGIS yazılımı ArcCatalog uygulaması kullanılarak veri alt yapısı oluşturulmuştur. Veri alt yapısında sınıflandırılan veriler ve Kriging interpolasyon yöntemi kullanılarak farklı variogram modeller test edilmiş ve en doğru sonuç veren "gauss model" kullanılarak tematik haritalar hazırlanmıştır. Beton temas suyunun zararlı etkinlik derecelerinin belirlenebilmesi için 26 numuneden CO2, NH4, SO4, Mg ve pH gibi su kimyası parametreleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar TS 3440 "zararlı kimyasal etkileri olan su, zemin ve gazların etkisinde kalacak betonlar için yapım kuralları" dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

Çalışma Alanının Coğrafik ve Morfolojik Durumu

Aksaray şehri, İç Anadolu bölgesinde 33° 59′ ve 34° 02′ doğu boylamları ile 38° 23′ ve 38° 21′ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 1.1). Aksaray, kuzey ve güney Anadolu dağlarının birbirinden uzaklaştığı, İç Anadolu bölümünün Orta Kızılırmak kesimine girer. Bölge yüksekliği ortalama 950-1100 m olan bir yüksek platodur. Basamaklarla yada fay kırıkları ile birbirinden ayrılan düz ovalar ve bu ovaları çevreleyen tepeler ve dağlar bölgenin jeomorfolojik karakteridir. Aksaray'ın yüzölçümü 7798 km^2, denizden yüksekliği ise 965 m'dir.



Şekil 1. İnceleme alanının konumu ve örnekleme noktalarının konumsal dağılımı

İnceleme Alanının Jeolojisi

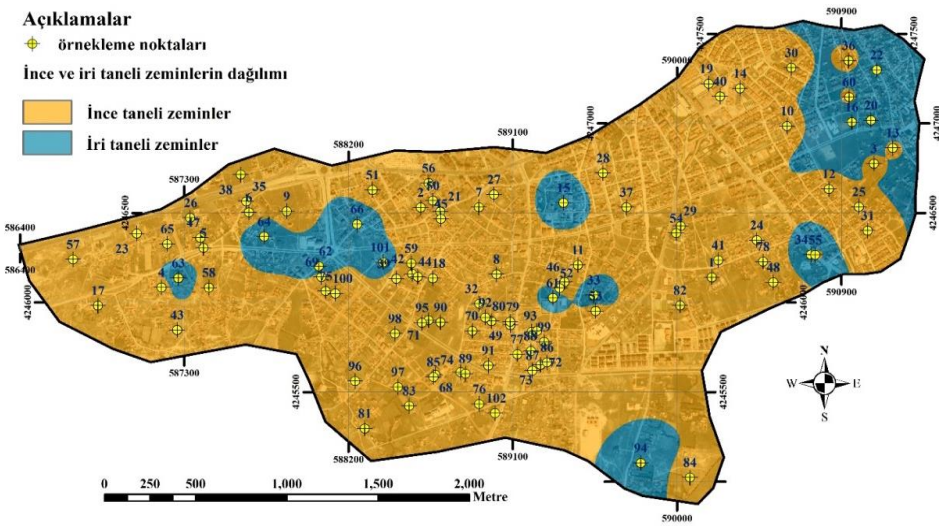
Çalışma sahasını oluşturan ana birimler Kuvaterner yaşlı alüvyon ve alüvyon konisidir. En üstte yer alan yarım metre derinliğindeki bitkisel topraktan itibaren bazı bölgelerde 15 m'ye kadar grimsi-kahve renkli

kumlu-siltli-kil gözlenirken, bazı bölgelerde 5 m'ye kadar kahve renkli kumlu-siltli-kil, 5-15 arasında grimsi kahve renkli çakıllı-siltli-kum gözlenmektedir. Zemin profilinde ilk tabaka olan nebati toprak, yaklaşık 0,5-1,0 m arasında değişen kalınlıkta bulunmaktadır. Açık renkli organik örtünün altında ise killi seviyeler görünmektedir. Zeminde 1 m. derinlikten itibaren başlayan killer genellikle grimsi – kahve renkli, sert, katı, aktif olmayan, orta kuru dayanım ve orta sıkışabilir özelliktedir. Zemin içinde bulunan kumlar genellikle grimsi renkte ve düşük kohezyonludur. Sondajların genelinde 7,5 m derinlikten itibaren görülen çakıllar ise nispeten daha koyu gri renkli ve iri köşelidir. Zemin içerisinde birimler yanal ve düşey kesitte sık değişim gösterir ve zemin heterojen yapıdadır. Bunun nedeni, yüksek debiye ve türbülanslı akış sistemine sahip akarsuların çökelim havzasına iri taneleri, mevsimsel olarak debilerinin düştüğü zamanlarda ise daha ince taneleri taşımasıdır.

Sondaj verilerinden elde edilen zemin sınıflamasının büyük oranda düşük-orta plastisiteli, inorganik killer ve siltli killer olduğu görülmektedir. Daha düşük oranda ise siltli ve killi kumlar, inorganik silt ve killi siltler, killi ve siltli çakıl ile çakıl kum karışımlarından oluştuğu görülmektedir. Zemin ağırlıklı olarak killerden oluşmakla birlikte, diğer birimler içinde de mercekler ve ara bantlar halinde bulunmaktadır. Bu sonuçlar bize çökelim havzasının aynı zamanda gölsel havza özelliği gösterdiğini göstermektedir.

ZEMİNLERİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

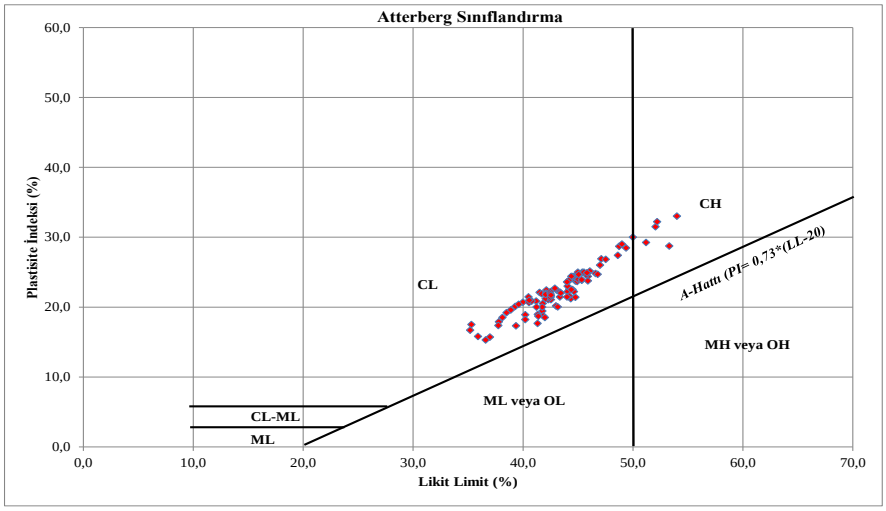
İnceleme alanında zeminlerin birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre zeminlerin bir tanesi GC (killi çakıl, killi kumlu çakıl), 4 tanesi SM (siltli kum), 8 tanesi SC (killi kum) olmak üzere 12 tanesi iri taneli zemin sınıfına girmektedir. İnce taneli zeminlerin ise 3 tanesi ML (inorganik, az plastik, siltli veya killi ince kum), 80 tanesi CL (düşük-orta plastisiteli, inorganik killer, siltli killer), 6 tanesi CH (yüksek plastisiteli inorganik killer) sınıfındadır. Zeminlerin %80'i düşük-orta plastisiteli, inorganik killer ve siltli killer (CL) sınıfındadır (Şekil 2). İnceleme alanındaki zeminlerin elek analizi sonuçlarına göre, 200 numaralı elekten geçen malzeme oranı ortalama %67,2'dir. Bu sonuç, zemini oluşturan tanelerin büyük çoğunluğunun kil ve silt gibi ince tane boyuna sahip malzemeden oluştuğunu göstermektedir. Bu tür zeminler ince taneli zeminler olarak sınıflandırılır. İri taneli malzemelerin çakıl ve kum malzeme oranları sırası ile %7,2 ve %25,6 olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. İnceleme alanındaki ince ve iri taneli zeminlerin konumsal dağılımı

İnceleme alanında 102 adet sondajdan alınan örselenmemiş numune üzerinde yapılan kıvam limit testi sonuçlarına göre, kıvam limitlerinin ortalama değerleri, likit limit %43,4, plastik limit %20,9 ve plastisite

indeksi %22,4 olarak hesaplanmıştır. Sınıflamaya göre ince taneli zeminler ağırlıklı olarak CL sınıfında ve az miktarda da CH sınıfında gruplanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. İncelenen zeminlerin plastisite abağındaki dağılımı (Casagrande, 1948 ve Howard, 1977)

Zeminlerin su muhtevası ve doğal birim hacim ağırlıkları en yüksek, en düşük ve ortalama değerleri sırasıyla %40,8, %8, %22 ve 2,52 gr/cm^3, 1,8 gr/cm^3, 1,9 gr/cm^3'tür. Zeminler ağırlıklı olarak ayrışmamış - kuru ve az ayrışmış – az kuru olarak sınıflandırılmıştır. Zeminlerin plastisite indisine göre yapılan plastisite derecesi ve kuru dayanım sınıflamalarına bakarsak, %98'i Plastik ve Orta kuru dayanıma sahip olduğu görünmektedir.

İnceleme alanında bulunan ince taneli zeminlerin Likitlilik ve Kıvamlılık indekslerine bakıldığında; ML sınıfı zeminlerin Kıvamlılık indeksi ortalama 1,67'dir, ve Çok Sert olarak sınıflandırılır. Likitlilik indeksi ise -0,49'dur, yani Katı sınıfındadır. CL sınıfı zeminlerin Kıvamlılık indeksi, 0,91 olup, Sert sınıfına girmektedir. Likitlilik indeksi 0,08'dir, yani Plastiktir. CH sınıfı ince zeminler ise Kıvamlılık indeksi 0,97'dir, Sert sınıfındadır. Likitlilik indeksi ise 0,09'dur, Plastik sınıfındadır. Zeminlerin %94'ü Aktif olmayan killer sınıfındadır.

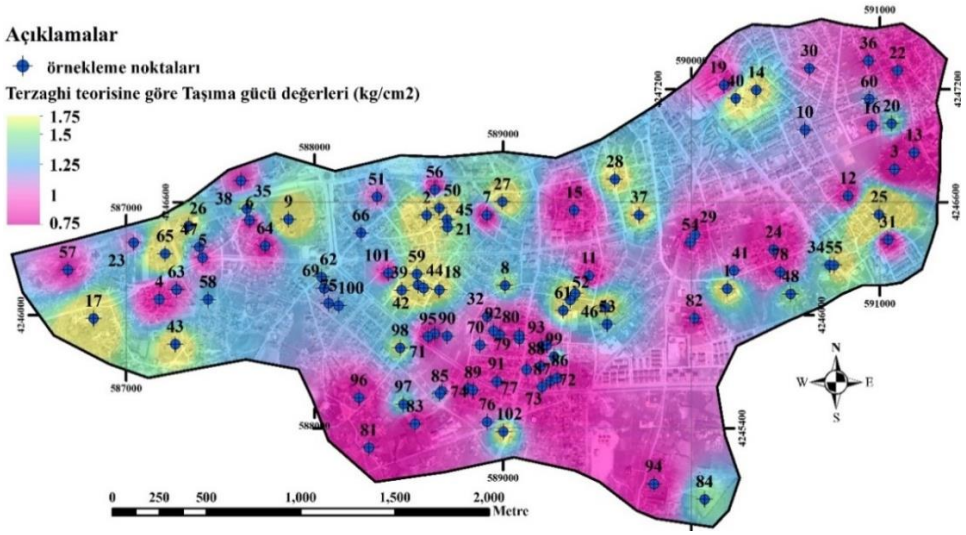
Sovers (1979), likit limit değerlerine göre yaptığı sınıflamasına göre, incelenen zeminlerin 97 tanesi 0,20-0,39 sıkışma indeksi aralığındadır. Numunelerin %96'sı Orta sıkışabilirlik sınıfındadır. Kalan %4'lük kısmı ise Yüksek sıkışabilirlik sınıfına girer. Zemin örneklerinin %98'i düşük şişme potansiyeline sahiptir

ZEMİNLERİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Terzaghi Yöntemi Hesaplama Yöntemi

İncelenen zeminlerin emniyetli taşıma gücü Terzaghi yöntemi sonuçlarına göre 1,65-0,75 kgf/cm^2 aralığında değişim göstermekle birlikte, ortalama değer 1,10 kgf/cm^2'dir. İçsel sürtünme açısı en yüksek 10,5°, en düşük 0° olmak üzere ortalama 4,9°'dir. Zeminlerin kohezyon değerleri ise 0,743-0,103 kgf/cm^2 aralığında değişim gösterir ve 0,407 kgf/cm^2 ortalama değere sahiptir.

Zeminlerin taşıma gücü değerlerinin inceleme alanının kuzey ve batı kısımlarında yüksek olduğu, güney ve doğu kısımlarında ise daha düşük değerler aldığı görülmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. Zeminlerin Terzaghi taşıma gücü değerleri konumsal dağılımı

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) Hesaplama Yöntemi

Ülkemizin deprem kuşağında bulunması ve mevcut yapı stokunun önemli kısmının depreme dayanımının yetersiz olmasından dolayı 2018 yılında yeni bir Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği yayımlanmıştır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'ne göre zeminlerin taşıma gücü için yeni bir hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Bu formüle göre;

$$q_k = c.N_c.s_c.d_c.i_c.g_c.b_c + q.n_q.s_q.d_q.i_q.g_q.b_q + 0{,}5.\ \gamma.B`.N_\gamma.s_\gamma.d_\gamma.i_\gamma.g_\gamma.b_\gamma$$

$$q_t = q_k/\gamma(R_v)$$

Bu formülde kullanılan parametrelerin açıklamaları aşağıdaki gibidir;

q_k	Temel taşıma gücünün karakteristik dayanımı
s_c, s_q, s_γ	Temel şekil katsayıları
d_c, d_q, d_γ	Derinlik katsayıları
i_c, i_q, i_γ	Yükleme eğikliği katsayıları
g_c, g_q, g_γ	Temel zemini eğimi katsayıları
b_c, b_q, b_γ	Temel taban eğimi katsayıları
N_c, N_q, N_γ	Taşıma gücü katsayıları
c	Kohezyon
q_t	Tasarım dayanımı RT'nin temel taşıma gücüne ilişkin karşılığı
γ_{Rv}	Temel taşıma gücü dayanım katsayısı

Zeminlerin TBDY (2018)' göre emniyetli taşıma gücü değeri ortalama 2,26 kgf/cm2, en yüksek 3,76 kgf/cm2, en düşük 0,89 kgf/cm2'dir.

Elde edilen taşıma gücü değerleri karşılaştırıldığında TBDY (2018) yöntemine göre hesaplanan taşıma gücü değerlerinin neredeyse 2 kat yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun nedeni, güvenlik katsayısının Terzaghi (1943) hesaplamasına göre 3, TBDY (2018)'e göre temel taşıma gücü katsayısı 1,4 alınmasıdır.

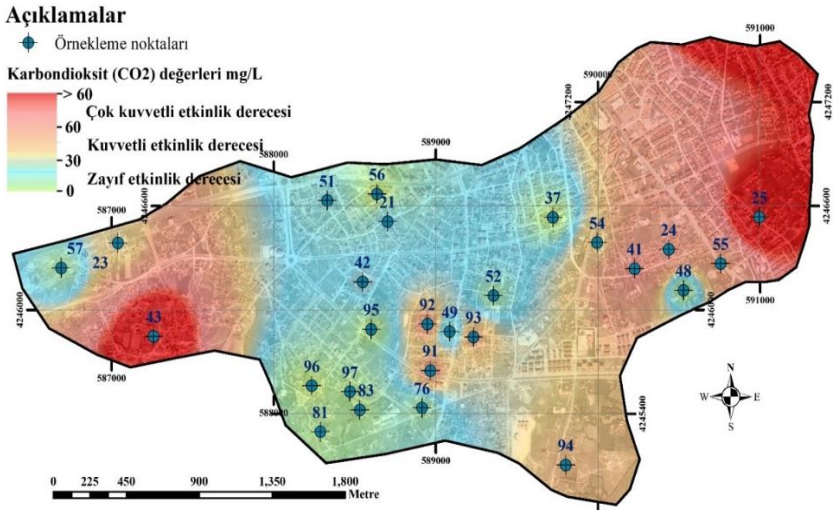
Ayrıca hesaplamada bir sondajın çeşitli derinliklerine ait kohezyon değerlerinden en düşük değeri kullanılmaktadır. Bu farklılıklar her iki yöntem için bulunan taşıma gücü değerlerinin birbirlerinden oldukça farklı çıkmasına neden olmuştur.

İnceleme alanında bulunan zeminlerin taşıma gücü laboratuvar deneyleri ile elde edilen veriler sayesinde hesaplandığı gibi sondaj sırasında sahada yapılan testlerle de hesaplamak mümkündür. İnceleme alanındaki tüm SPT sayıları ile yapılan taşıma gücü hesabına göre en yüksek değer 1,41 kg/cm^2, en düşük 0,16 kg/cm^2 ve ortalama 0,49 kg/cm^2'dir.

YERALTI SULARININ BETONARME YAPILARDAKİ KOROZİF ETKİNLİK DERECESİNİN BELİRLENMESİ

İnceleme alanı ve çevresinde muhtemel yeraltı suyu akımı doğuda yer alan yüksek kotlu tepelerden batıya doğru şehir merkezini içerisine alacak şekilde gelişmiştir. Bölgedeki yeraltı suları mevsimsel yağışlardan beslenmektedir. Zemin sondajlarından yapılan ölçümlere göre yeraltı su seviyesi en yüksek 2,1 m, en düşük seviye ise 7,5 m olarak ölçülmüştür. Yapımı planlanan altyapının en fazla 4 m derinlikte inşa edileceği düşünülürse, betonarme yapının sürekli yeraltı suyu ile temasta olması kaçınılmazdır.

Yeraltı sularının inceleme alanındaki konumsal dağılımlarına bakıldığında, doğu ve batı kesimlerinde CO_2 çözeltilerinin kuvvetli derecede zararlı etkiye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 5). Bu bölgelerde bulunan 25, 41, 43 numaralı numuneler çok kuvvetli zararlı etkinlik derecesine, 24, 54, 55, 91, 92, 93 ve 94 numaralı yeraltı su numuneleri ise kuvvetli dereceye sahiptir.

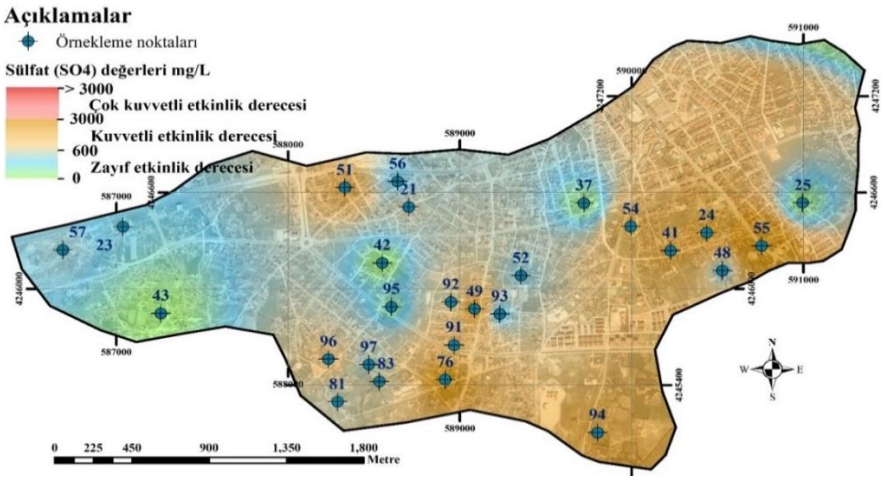


Şekil 5. İnceleme alanının yeraltı sularının kireç çözücü (CO_2) dağılımı

İnceleme kapsamındaki bölge Hasandağı, Narlıgöl, Ziga jeotermal alanlarına yakın konumda bulunmaktadır. İnceleme alanında gözlenen yüksek CO_2 değerlerinin kaynağı, Hasandağı volkanizmasına ait magmatik intrüzyonların yukarı doğru sokulum göstermeleridir. Bölgede yer alan yüksek CO_2 içeriğine sahip çok sayıdaki sıcak ve mineralli su kaynağının varlığı bu görüşü desteklemektedir.

İnceleme alanında yapılan su kimyası analizlerine göre ortalama Amonyum miktarı 0,645 mg/L'dir. Zararlı etkinlik sınıflamasına göre risk içermemektedir. Hem ortalama olarak hem de tekil olarak yeraltı sularında amonyum açısından zararlı etkinlik derecesine sahip yeraltı suyu bulunmamaktadır. İnceleme alanındaki yeraltı sularının Magnezyum değerleri ortalaması 80,4 mg/L'dir. 24, 41, 49, 55 ve 97 numaralı numunelerde zararlı etkinlik derecesi zayıftır. Diğer numuneler ise sınır değeri aşmamaktadır.

İnceleme alanındaki yeraltı sularının %77'si sülfat açısından sınır değeri aşmış durumdadır. Numunelerin 15 tanesi, zayıf derecede zararlı etkiye sahipken, 5 tanesi kuvvetli derecede zararlı etkinliktedir. Sülfat değerinin inceleme alanındaki konumsal dağılımı incelendiğinde, doğu ve güney bölgelerde değerlerin yükseldiğini, kuvvetli derecede zararlı etkiye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 6).



Şekil 6 İnceleme alanının yeraltı sularının Sülfat (SO_4^{-2}) dağılımı

SONUÇLAR

Çalışma kapsamında Aksaray iline ait 5 ve 6 nolu yağmur suyu deşarj havzalarında 102 adet zemin sondajından elde edilen veriler sayesinde zeminlerin jeoteknik ve hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir. İnceleme alanı sınırları içinde gözlenen jeolojik formasyon alüvyon ve alüvyon konisidir. Zeminler genellikle heterojen yapıda olup, bazı bölgelerde 15 m'ye kadar kum-çakıl arabantlı, grimsi kahve renkli kumlu-siltli-kil; bazı bölgelerde 5 m'ye kadar kahve renkli kumlu-siltli-kil, 15 m'ye kadar grimsi kahve renkli çakıllı-siltli-kum şeklinde profil gösterir.

İnceleme alanındaki zemin sınıfları oranlanırsa, ince taneli zeminlerin oranı %88, iri taneli zeminlerin oranı %12'dir. Tüm zemin numunelerine uygulanan elek analizine göre %67,2 oranında kil ve silt, %25,6 kum ve %7,2 çakıl bulunmaktadır. Zeminlerin ortalama likit limit değeri %43,4, plastik limit %20,9, plastisite indeksi %22,4'dür. Zeminlerin ortalama doğal biri hacim ağırlığı 1,9 gr/cm^3, su muhtevası ortalaması ise %22 oranındadır. Zeminler genel olarak ayrışmamış-kuru ve az ayrışmış-az kuru özelliktedir. İndeks özelliklerine göre zeminler plastik ve orta kuru dayanıma sahiptir. İnce taneli zeminler sert-çok sert kıvamda, likitlilik indeksi plastik-katı özelliktedir. İnceleme alanındaki killerin %95'i aktif olmayan killer sınıfındadır. Zeminler büyük oranda orta sıkışabilir özelliktedir. İnceleme alanındaki zeminlerin %75'i orta ve düşük, %25'i ise yüksek şişme potansiyeline sahiptir.

Terzaghi ve Peck yöntemine göre zeminlerin emniyetli taşıma gücü ortalamaları 1,10 kgf/cm^2 dir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yapılan hesaplarda, ortalama taşıma gücü 2,26 kgf/cm^2 dir. Yeraltı sularının %55'i karbondioksit açısından zararlı etkinlik derecesine sahiptir. Yeraltı suları özellikle inceleme alanının güney ve doğu bölgelerinde CO_2 ve SO_4^{-2} açısından yüksek risk içermektedir.

Yapılacak olan yağmur suyu alt yapısının en fazla 4 m derinliğe inşa edileceğinden dolayı betonarme altyapı elemanları sürekli yeraltı suyu ile temas halinde olacaktır. Ayrıca altyapı temelini genellikle siltli kil seviyelere denk gelmesi, zeminde muhtemel oturma ve şişme riskini arttırmaktadır. Bu sebeplerle altyapı inşası sırasında bazı önlemler alınmalıdır:

Yağmur suyu kollektörlerin alt kotunda ve kollektöre paralel drenaj hattı yapılması, yeraltı sularının betonarme yapıya temasını engelleyecektir. Drenaj hattının filtre görevi görecek nitelikte çakıllardan yapılması ve dış kısmının jeotekstil ile bohçalanması drenaj hattının sağlıklı çalışmasını sağlayacaktır.

Zemindeki yeraltı su seviyesi ve siltli kilin hakim olduğu zemin profili düşünüldüğünde, yapılacak olan alt yapının yataklama malzemesinin ve serim kalınlığının dikkatli seçilmesini gerektirmektedir. Hendek kazısının zemin ıslahı da göz önüne alınarak daha derin yapılması, zemindeki killi malzemenin gerekli kalınlıkta uygun malzeme ile ıslah edilmesi gerekmektedir.

Zemin ıslah malzemesinin üstüne serilecek olan yataklama malzemesi sıkışabilir özellikte olmalı ve bu tabaka yeterli sıkıştırma işlemine tabi tutulmalıdır.

Yeraltı sularının betonarme yapılar ile temasını kesmek için, imalatı yapılan altyapı elemanlarının bitüm bazlı yalıtım malzemeleri ile standardına uygun kalınlıkta kaplamak gerekmektedir.

Zararlı etkili maddelerin beton içine sızarak hem betona hem de beton içinde gömülü çelik donatıya zarar vermesini önlemek amacıyla betonun geçirimliliğinin düşük olması sağlanmalıdır.

Zararlı etkinin derecesine göre taze beton imalatı sırasında su/çimento oranının en yüksek 0,50 olmalıdır.

Betonarme boruların entegre contalı olması ve imalatı sırasında donatılar için konan pas paylarının yüksek tutulması suyun betona ve çelik donatıya etkisini azaltacaktır.

KAYNAKLAR

ÇDR, 2018, Aksaray ili 2018 yılı çevre durum raporu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı raporu.

Coşkun, D., 2016. Aksaray ili zeminlerinin jeoteknik özellikleri arasındaki ilişkiler, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, Fen Bilimleri Enstitüsü, 94 s.

Kavurmaci, M., 2013. Şereflikoçhisar havzası yeraltı sularının hidrojeolojik ve hidrokimyasal açıdan incelenmesi ve bölgedeki tuzlusu girişiminin çevresel etkilerinin araştırılması. Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Aksaray, 232 s.

Kavurmacı, M., 2016. Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) Kullanılarak Sıvılaşma Riskinin Değerlendirilmesi: Aksaray Örneği, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Doi: 10.5505/pajes.2016.62534

Naimi, S., Özdemir, Z., 2020. Yapılarda yeraltı suyuna karşı yapılan koruma sistemlerinin uygulanabilirliği ve güvenliğinin incelenmesi, Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, Cilt 4, Sayı 1, İstanbul, S. 113-123

ÖÇKB, 2010. Tuz Gölü özel çevre koruma bölgesi su kaynakları yönetim planı sonuç raporu, Özel çevre Koruma Kurulu Başkanlığı yayınları, 279 s., Ankara.

Sowers, G.B. ve Sowers, G.F., 1979. Introductory Soil Mechanics and Foundations, Mc Millan.

Şimşek, Z., 2005. Yapı Yeraltı Kabuğunda Su ve Nem Sorunlarının Geçirimsiz Malzeme ile Giderilmesinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi.

Terzaghi, K., 1943. ''Theoretical Soil Mechanics'' Wiley, New york. ve Peck, R.B., 1948.''Soil Mechanics İn Engineering Practive'' Wiley, 729s., New York.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, RG: 18.03.2018 – 30364

Ulucan, A., Ünlü, A., 2001. Sudaki karbondioksit, sülfat, amonyum iyon derişimlerinin beton boruların tepe basınç yüküne etkisinin araştırılması, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası yayınları, Cilt 1, Sayı 2, S. 40-47

Yılmaz, A., 2011. Alümniyum Eloksal çamurunun hazır beton katkı malzemesi olarak değerlendirilmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 88 s.

Pareto Yaklaşımına Sahip Sürü Zekâsı Optimizasyonu ile 2-B Manyetotellürik Modelleme

Ersin BÜYÜK*[a]
[1a]*Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye*

Öz
Jeofizik verilerinin klasik ters çözümünde kullanılan yöntemler başlangıç modeline bağlı kalmakta ve bu bağlılık çoğu zaman lokal minimumda tuzaklanmaya sebep olmaktadır. Ayrıca model parametrelerine göre uygulanan kısmi türevler matematiksel modelin doğrusal olmamasından dolayı imkânsız hale de gelmektedir. Son yıllarda başlangıç modeline bağlı olmadan, doğrusal olmayan modellerin global ölçekte modellenmesi için modern global optimizasyon yöntemleri önerilmektedir. Bu yöntemlerden biri olan ve hayvan sürülerinin zekâsına dayanarak geliştirilen Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) bu sıkıntıların üstesinden gelerek klasik jeofizik yöntemlere alternatif bir yaklaşım olarak görülmektedir. Ancak birleşik sistemlerin PSO ile optimizasyonu mühendislik çalışmalarında başarılı bir şekilde kullanılmasına rağmen, jeofizik verilerinin birleşik ters çözümünde yaygın olarak kullanılmadığı görülmektedir. Birleşik ters çözüm çalışmalarında ise öngörülemeyen ve subjektif olan ağırlıklandırmalar ve hata fonksiyonlarının kombinasyonu yanlış çözümlere ve yanlış yorumlamalara sebep olabilmektedir. Mühendislik çalışmalarında birden fazla sistemin çok amaçlı optimizasyonunda kullanlan Pareto yaklaşımı ise ağırlıklı kombinasyonuna gerek kalmadan ortak çözümü elde etmeye imkan sağlamaktadır. PSO yöntemi Pareto yaklaşımı ile entegre edildiğinde (Pareto-PSO) ağırlıklandırmalardan, hata paylarının kombinasyonundan, başlangıç modeli ve türevlerden bağımsız olarak ortak optimum çözüm elde edilebilmektedir. Bu çalışmada Pareto-PSO'nun manyetotellürik veriler üzerinde uygulanabilirliğini görmek adına 2-B modelleme gerçekleştirilmiştir. 2-B manyetotellürik modelleme de kullanılan veriler farklı hassasiyetleri olan TE ve TM modlarının verileridir. Sentetik verilerin Pareto-PSO ile modellendiği bu çalışmada elde edilen sonuçların oldukça uyumlu olması Pareto-PSO'nun 2-B manyetotellürik verilerin modellenmesinde yenilikçi bir yöntem olacağını ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Manyetotellürik, Birleşik ters çözüm, Sürü optimizasyonu, Pareto optimalite

1. Giriş

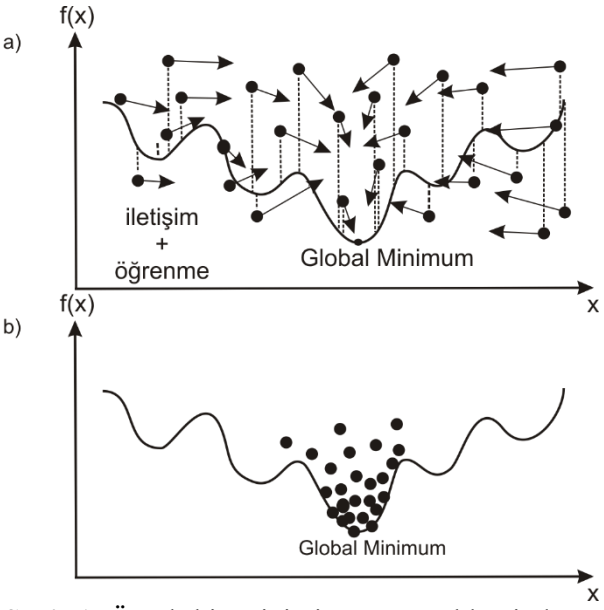
Jeofizikte geleneksel modelleme çalışmaları iki şekide gelişim göstermiştir: 1) türeve bağlı, 2) türeve bağlı olmayan arama yöntemleridir. Ancak bu yöntemlerin yıllar geçtikçe oluşturduğu dezavantajlar da ortaya çıkmaya başlamaktadır. Örneğin türeve bağlı yöntemler başlangıç modeline bağlı olmakta, bu bağlılık lokal minimumda tuzaklanmaya sebep olmakta, böylece olası diğer çözümler elde edilememektedir. Ayrıca doğrusallaştırılması oldukça zor olan matematiksel modellerin türevleri her zaman zorluk oluşturmaktadır. Türeve bağlı olmayan arama yöntemleri ise kısmen lokal minimumdan kurtulabilmekte ancak uzun süren aramalardan dolayı çok ciddi zaman kayıplarına sebep olabilmektedir.

Son yıllarda, kuş ve balık sürülerinin bir takım karakteristik özelliklerinden faydalanılarak geliştirilen ve global optimizasyon yöntemlerinden biri olan parçacık sürü optimizasyonu (PSO) jeofizik modelleme de yaşanan bu sıkıntıların üstesinden geldiği görülmektedir (ör. Buyuk ve Karaman, 2017; Godio ve Santilano, 2018; Peksen vd., 2014; Song vd., 2012; Srivardhan vd., 2016). Özellikle diğer global algoritmalara göre hızlı olması ile de popülaritesini arttırmıştır (Buyuk et al., 2017; Van Den Bergh and Engelbrecht, 2006). Her ne kadar PSO'nun bu avantajları jeofizik verilerinin ters çözümünde uygulanmış olsada birleşik ters çözüm modelleme için çok az sayıda çalışması mevcuttur (ör. Büyük vd., 2020; Pace vd., 2019). Jeofizik modelleme de birleşik ters çözüm çalışmaları genellikle ağırlıklı toplam yaklaşımı ile hata fonksiyonlarının kombinasyonları kullanılmaktadır. Ancak verilerin güvenirliği ve gürültü seviyelerinden dolayı uygun ağırlıklandırma miktarı kestirilememekte ve verilen ağırlıklandırmalar oldukça subjektif olmaktadır (Kozlovskaya et al., 2007). Pareto optimalite yaklaşımı ise ağırlıklandırma

ve kombinasyona gerek kalmadan hem olası çözüm kümesini hemde bağımsız veri gruplarından en optimum çözümünü sağlamaktadır.
Jeofiziğin doğal elektromanyetik alanlarının tespit edildiği manyetotellürik verilerinin 2-B modellenmesinde ise genellikle farklı hassasiyetleri olan TE ve TM modlarının birleşik ters çözümü kullanılmaktadır (de Groot-Hedlin and Constable, 2004; Oskooi et al., 2005; Santos et al., 2014). İki modun birleşik ters çözümü tamamlayıcı olarak düşünülse de (Ulugergerli et al., 2007), çok büyük hata paylarına da sebep olabilmektedir (Simpson and Bahr, 2005). Çünkü TE modu derin ve iletken yapılara, TM modu sığ ve dirençli yapılara hassastır (Berdichevsky et al., 1998). Bu çalışma da, PSO ile Pareto optimalite yaklaşımı entegre edilerek (Pareto-PSO) manyetotellürik verilerin 2-B modellemesi için kullanılmıştır. 2-B modelleme de farklı hassasiyetleri olan TE ve TM modlarının birleşik ters çözümü gerçekleştirilmiştir. Sentetik veriler üzerinden uygulanan modelleme sonuçları oldukça uyumlu sonuçlar göstermiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda Pareto-PSO yöntemi jeofizik modelleme de yaşanan sıkıntıların üstesinden gelerek manyetotellürik veriler için de yenilikçi bir modelleme tekniği olacağı düşünülmektedir.

2. Pareto Yaklaşımı ve Parçacık Sürü Optimizasyonu

Parçacık sürü optimizasyonunda her bir parçacık model parametrelerinin bilgilerini taşırken (*x*), Şekil 1a'daki gibi veri ile model tepkisi arasındaki farkı gözeterek oluşturduğu hata payı ile amaç fonksiyonu (*f(x)*) üzerinde pozisyonlarını alırlar. Başlangıçta hızları sıfır olarak atanan parçacıklar iletişim ve öğrenme halindedir. Bu yetenekleri ile parçacıklar bir hız vektörü ile pozisyonlarını değiştirip global minimuma ulaşmaktadır (Şekil 1b).



Şekil 1. Örnek bir minimizasyon probleminde parçacıkların şematik olarak hareketleri, a) başlangıçta parçacıkların rastgele amaç fonksiyonu uzayında dağılımı, b) iletişim ve öğrenme halindeki parçacıkların global minimuma ulaşımı.

Genel PSO algoritmasına göre rastgele dağılım gösteren parçacıklardan en düşük hata payını gösteren parçacık global en iyi çözüm olarak adlandırılır. Parçacıklar bir sonraki hızlarını

$$\vec{V}_i^{k+1} = \omega\vec{V}_i^{k} + c_1\gamma_1 \otimes \left(\vec{x}_{pbest,i} - \vec{x}_i^{k}\right) + c_2\gamma_2 \otimes \left(\vec{x}_{gbest} - \vec{x}_i^{k}\right), \qquad (1)$$

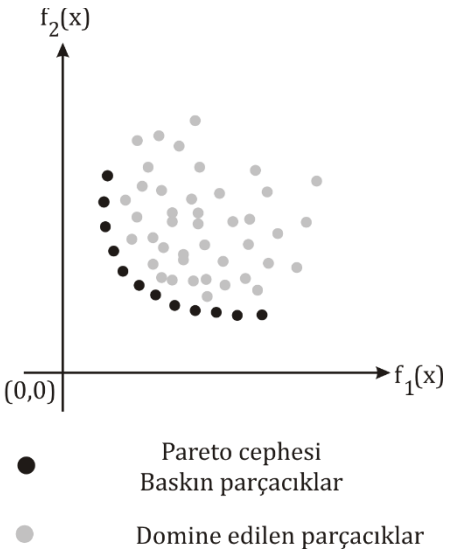
ve pozisyonlarını,

$$\vec{x}_i^{k+1} = \vec{x}_i^{k} + \vec{V}_i^{k+1}, \qquad (2)$$

şeklindeki denklemlerle değiştirir. Burada $\vec{x}_i^k$ ve $\vec{V}_i^k$, parçacık *i*'nin *k.* iterasyonda pozisyonu ve hız vektörünü ifade etmektedir. ω, hız vektörü üzerinde sönüm parametresini göstermektedir. c_1 ve c_2 sırasıyla lokal ve global öğrenme katsayısını, γ_1 ve γ_2 ise [0,1] arasında tekdüze dağılım gösteren rastgele

sayıları göstermektedir. $\vec{x}_{pbest,i}$, parçacık i'nin geçmişteki en iyi pozisyonunu, $\vec{x}_{gbest}$ global en iyi çözümü bir anlamda lider parçacığı göstermektedir. Yeni hız vektörü ile pozisyonunu değiştiren parçacıklar, eğer geçmişteki pozisyonundan daha iyi bir çözüm gösterirse (örneğin minimizasyon problemi için daha minimum) ise yeni $\vec{x}_{pbest}$ olarak atanır. Eğer bir parçacık lider olan parçacıktan daha iyi bir çözüm gösterirse yeni $\vec{x}_{gbest}$ olarak atanır. Bu süreç kullanıcı tarafından belirlenen bir iterasyon sayısına ya da hata payına ulaşana kadar devam eder.

Eğer birden fazla sistemin optimizasyonu söz konusu olursa birden fazla amaç fonksiyonun eş zamanlı optimizasyonu aranacaktır. Bu durumda amaç fonksiyonlarından oluşan bir vektör optimizasyonu söz konusu olacaktır. Ancak birden fazla amaç fonksiyonunu optimize edecek bir vektör genellikle bulunmaz. Bu durumda Şekil 2'de görüldüğü gibi parçacıklar bir sistemi iyileştirirken, diğer sistem kötüleştirecek ya da tam tersi gerçekleşecektir. Böylece parçacıklar amaç fonksiyonlarının bulunduğu uzayda Pareto cephesi denen ve Pareto baskın parçacıklardan oluşan bir dağılım gösterir (Şekil 2). Baskın parçacıklar haricindeki parçacıklar ise domine edilen parçacıklar olarak adlandırılır. Böylece elde edilen baskın parçacıklar ağırlıklandırmaya gerek kalmadan olası tüm çözümleri kullanıcıya sunmaktadır.



Şekil 2. Baskın ve domine edilen parçacıkların amaç fonksiyonu uzayında örnek bir dağılımı. $f_1(x)$ ve $f_2(x)$ burada amaç fonksiyonlarıdır.

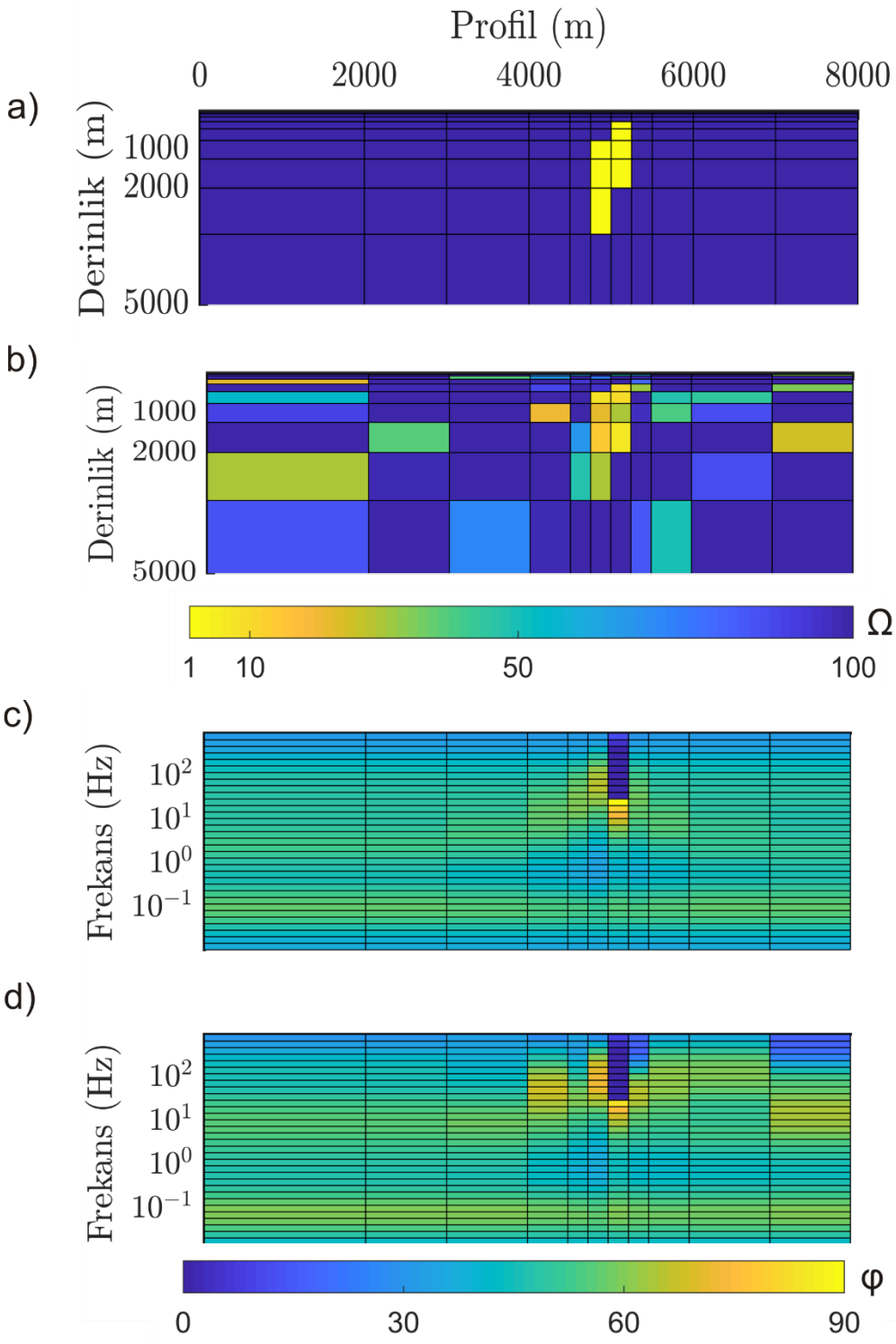
3. Pareto-Parçacık Sürü Optimizasyonu ile Sentetik Manyetotellürik Verilerin Modellenmesi

Bu çalışma da Pareto yaklaşımı ile PSO algoritması entegre edilerek sentetik üretilen manyetotellürik verilerin 2-B modellenmesi gerçekleştirilmiştir. 2-B modeleme de farklı hassasiyetleri olan TE ve TM modlarının birleşik ters çözümü kullanılmıştır. Manyetotellürik modelleme de kullanılacak düz çözüm tekniği için Tong vd., (2018) tarafından sunulan sonlu farklar algoritması kullanılmıştır. Kullanılanılan PSO parametreleri ise Clerc ve Kennedy (2002) tarafından önerilen parametreler olurken, iterasyon sayısı 200 seçilmiştir. Şekil 3a sentetik verilerin elde edilmesinde kullanılan modeli göstermektedir. Manyetotellürik verilerin iki boyutlu modelleme de en iyi çözünürlüğü fay/kontak yapıları üzerinde olduğundan, bu model fay boyunca akışkan içeriğe ve düşük özdirence (5 ohm) sahip iletken yapı ve onu çevreleyen 100 ohm'luk yapılardan oluşmaktadır. Modelde düşey ve yatayda 12×12'lik bloklar kullanılmıştır. Optimizasyon algoritması ile toplamda bu 144 bloğun özdirenç değerleri kestirilmiştir. Optimizasyonda kullanılan arama aralığı her blok için 1-100 ohm.m arasında seçilmiştir. Şekil 3c, üretilen sentetik modelin oluşturduğu faz açısı tepkisini göstermektedir. İletken kontak yapısı civarında düşük faz açılı değerler açıkça görülmektedir. Optimizasyonu gerçekleştiriken kullanılan ve veri ile model tepkisi arasında farkı oluşturan amaç fonksiyonu ise faz açısı üzerinden

$$\alpha = \left[\frac{1}{n \times j} \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{n} \left(\varphi_{i,j}^{göz} - \varphi_{i,j}^{mod} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

şeklideki denklemden oluşmaktadır. Bu denklemde i, her bir frekansı, j, bir profil boyunca nokta sayısını göstermektedir. $\Phi_{i,j}^{göz}$, j. noktada i. frekansta gözlenen faz açısı verisini, $\Phi_{i,j}^{mod}$ ise ilgili nokta ve frekansta modelin faz açısı tepkisini göstermektedir. Denklem 3'teki amaç fonksiyonu Pareto-PSO yönteminde TE mod ve TM mod için ayrı ayrı kullanılmaktadır.

Uygulanan optimizasyon algoritması sonucu Şekil 3b kestirilen her bir griddeki özdirenç değerleri ile model tepkisinin sonucunu göstermektedir. Şekil 3d ise bu modelin oluşturduğu faz açısı tepkilerini göstermektedir. Elde edilen sonuçlara göre tespit edilen en optimum model (Şekil 3b) ile verilerin üretilmesinde kullanılan gerçek model (Şekil 3a) birbirleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Özellikle iletken bölgenin bulunduğu fay/kontak civarında benzerlik belirgin bir şekilde elde edilmiştir. Özdirenci yüksek bölgelerde bazı gridler farklı sonuçlar verse de genel olarak tutarlı sonuçlar elde edilmiştir. Bu noktada iterasyon sayısı ve kullanılan parametreler ile çözümün daha da iyileştirilmesi sağlanabilir. Ayrıca optimizasyon ile tespit edilen modelin faz açısı tepkisi (Şekil 3d) gerçek modelin tepkisi (Şekil 3c) ile oldukça tutarlı olduğu ve aradaki farkın da çok düşük olduğu görülmektedir. Bu açıdan bakıldığında farklı hassasiyetlere sahip manyetotellürik TE ve TM modlarının birleşik ters çözümünde Pareto-PSO yönteminin oldukça güvenilir sonuçlar sunmaktadır.



Şekil 3. Sentetik verilerin üretildiği model **(a)**, optimizasyon sonucu elde edilen model **(b)**, sentetik faz açısı verileri **(c)** ve elde edilen modelin faz açısı tepkisi **(d)**.

4. Sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre Pareto-PSO yöntemi sayesinde birleşik ters çözümdeki ağırlıklandırma ve hata fonksiyonların toplamına gerek kalmadan en optimum sonuç elde edilebilmektedir. Her ne kadar Pareto yaklaşımı gerçek mühendislik problemlerinde efektif olarak kulanılsa da jeofizik verilerin birleşik ters çözümü ile de modelleme çalışanlarına teşvik edici sonuçlar

sunmaktadır. Zaten jeofizik modelleme de birçok avantaj sağlayan PSO yönteminin üzerine Pareto yaklaşımı eklendiğinde ağırlıklandırma problemi de giderilmiş olduğu görülmektedir. Böylece Pareto-PSO yöntemi ile birleşik sistemler rahatlıkla ve güvenilir bir şekilde modellenebilecektir. Özellikle Pareto-PSO yöntemi farklı hassasiyetlere sahip veri gruplarının birleşik ters çözümünde güçlü bir metodolojik yöntem olarak durmaktadır. Ancak farklı jeofizik verilerinin birleşik sistemde modellenmesinde de faydalı olup olmayacağı ile ilgili daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Kaynakçalar

Berdichevsky, M. N., Dmitriev, V. I., Pozdnjakova, E. E. 1998. "On two-dimensional interpretation of magnetotelluric soundings". Geophysical Journal International, *133*(3), 585–606.

Buyuk, E., Karaman, A. 2017. "Estimating of aquifer parameters from the single-well water-level measurements in response to advancing longwall mine by using particle swarm optimization". 19th EGU General Assembly, EGU2017, Proceedings from the Conference Held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria., p.7037, *19*, 7037. Retrieved from http://adsabs.harvard.edu/abs/2017EGUGA..19.7037B

Buyuk, E., Zor, E., Karaman, A. 2017. "Rayleigh wave dispersion curve inversion by using particle swarm optimization and genetic algorithm". 19th EGU General Assembly, EGU2017, Proceedings from the Conference Held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria., p.6911, *19*, 6911. Retrieved from http://adsabs.harvard.edu/abs/2017EGUGA..19.6911B

Büyük, E., Zor, E., Karaman, A. 2020. "Joint modeling of rayleigh wave dispersion and H/V spectral ratio using pareto-based multiobjective particle swarm optimization". Turkish Journal of Earth Sciences, *29*(4), 684–695.

Clerc, M., Kennedy, J. 2002. "The particle swarm-explosion, stability, and convergence in a multidimensional complex space". IEEE Transactions on Evolutionary Computation, *6*(1), 58–73.

de Groot-Hedlin, C., Constable, S. 2004. "Inversion of magnetotelluric data for 2D structure with sharp resistivity contrasts". Geophysics, *69*(1), 78–86.

Godio, A., Santilano, A. 2018. "On the optimization of electromagnetic geophysical data: Application of the PSO algorithm". Journal of Applied Geophysics, *148*, 163–174.

Kozlovskaya, E., Vecsey, L., Plomerova, J., Raita, T. 2007. "Joint inversion of multiple data types with the use of multiobjective optimization: problem formulation and application to the seismic anisotropy investigations". Geophysical Journal International, *171*(2), 761–779.

Oskooi, B., Pedersen, L. B., Smirnov, M., Árnason, K., Eysteinsson, H., Manzella, A. 2005. "The deep geothermal structure of the Mid-Atlantic Ridge deduced from MT data in SW Iceland". Physics of the Earth and Planetary Interiors, *150*(1-3 SPEC. ISS.), 183–195.

Pace, F., Santilano, A., Godio, A. 2019. "Particle swarm optimization of 2D magnetotelluric data". Geophysics, *84*(3), E125–E141.

Peksen, E., Yas, T., Kiyak, A. 2014. "1-D DC Resistivity Modeling and Interpretation in Anisotropic Media Using Particle Swarm Optimization". Pure and Applied Geophysics, *171*(9), 2371–2389.

Santos, A. C. L., Padilha, A. L., Fuck, R. A., Pires, A. C. B., Vitorello, I., Pádua, M. B. 2014. "Deep structure of a stretched lithosphere: Magnetotelluric imaging of the southeastern Borborema province, NE Brazil". Tectonophysics, *610*, 39–50.

Simpson, F., Bahr, K. 2005. "*Practical Magnetotellurics*". *Cambridge University Press* (Vol. Book). Press Syndicate of the University of Cambridge.

Song, X., Tang, L., Lv, X., Fang, H., Gu, H. 2012. "Application of particle swarm optimization to interpret Rayleigh wave dispersion curves". Journal of Applied Geophysics, *84*, 1–13.

Srivardhan, V., Pal, S. K., Vaish, J., Kumar, S., Bharti, A. K., Priyam, P. 2016. "Particle swarm optimization inversion of self-potential data for depth estimation of coal fires over East Basuria colliery , Jharia coalfield , India". Environmental Earth Sciences, *75*(8), 1–12.

Tong, X., Guo, Y., Xie, W. 2018. "Finite difference algorithm on non-uniform meshes for modeling 2D magnetotelluric responses". Algorithms, *11*(12).

Ulugergerli, E. U., Seyitoğlu, G., Başokur, A. T., Kaya, C., Dikmen, U., Candansayar, M. E. 2007. "The geoelectrical structure of Northwestern Anatolia, Turkey". Pure and Applied Geophysics, *164*(5), 999–1026.

Van Den Bergh, F., Engelbrecht, A. P. 2006. "A study of particle swarm optimization particle trajectories". Information Sciences, *176*(8), 937–971.

Tunceli Elazığ Civarının Miyosen-Kuvaterner Tektonik Evriminin Paleomanyetik Veriler ile İncelenmesi

Sercan KAYIN[1], Turgay İŞSEVEN[2]

[1]Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, 29100, Gümüşhane

[2]İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Öz

Arap levhasının kuzeye doğru hareketiyle, Doğu Anadolu bölgesinde meydana gelen sıkışmalı tektonik rejim sonucu, Anadolu levhası, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) boyunca batıya doğru hareket etmeye başlamıştır. KAFZ ve DAFZ, Bingöl'ün Karlıova ilçesinin yaklaşık 10 km kuzeydoğusunda Varto Fay Zonu ile birleşerek "Karlıova Üçlü Eklemi'ni oluşturmaktadır. Çalışma alanının bulunduğu Tunceli - Elazığ yöresi ise, Karlıova Üçlü Eklemi'nin batısında, Anadolu mikro levhası üzerinde yer almaktadır.

Tunceli ve Elazığ civarının tektonik evrimini belirlemek için Miyosen yaşlı volkanik kayaçlardan 15, Pleyistosen yaşlı volkanik kayaçlardan 4 mevkiden olmak üzere toplam 19 mevkiden yönlü paleomanyetik karot numune toplanmıştır. Paleomanyetik karot numuneler, portatif bir karotiyer kullanılarak toplanmış olup, yönlendirme işlemleri hem manyetik hem de güneş pusulaları kullanılarak belirlenmiştir. Paleomanyetik laboratuvar çalışmaları, KANTEK Paleomanyetizma Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Ölçüme hazır 1" (inch) boyunda standart numuneler haline getirilen karot numunelere, standart paleomanyetik demanyetizasyon testleri uygulanmış, demanyetizasyon adımları Zijderveld ve Stereografik projeksiyonlarına işlenmiştir. Demanyetizasyon işlemlerinden sonra, ortalama mıknatıslanma doğrultuları hesaplanmış ve elde edilen rotasyonlar ilgili haritalarda gösterilmiştir.

Elde edilen paleomanyetik sonuçlara göre, çalışma alanının güneyinde bulunan Kuvaterner yaşlı kayaçlar saatin tersi yönünde ortalama 28°'lik bir rotasyon göstermektedir. Miyosen volkanik kayaçlarından ise genel olarak saat yönünde 6°'lik bir rotasyon elde edilmiştir. Ayrıca çalışma alanındaki Miyosen yaşlı kayaçların da kendi içerisinde farklı rotasyonlar gösterdiği de gözlenmektedir.

Anahtar kelimeler: Anadolu Levhası, Miyosen-Kuvaterner Paleomanyetizma.

Investigation of Miocene-Quaternary Tectonic Evolution in Tunceli Elazığ region using Paleomagnetic Data

Sercan KAYIN[1], Turgay İŞSEVEN[2]

[1]*Gümüşhane University, Gümüşhane Vocational School, Department of Mining and Mineral Extraction, 29100-Gümüşhane,*

[2]*İstanbul Technical University, Faculty of Mines, Geophysical Engineering Department, 34469 - Ayazağa -İstanbul*

Abstract

Because of the northward movement of the Arabian plate, the Anatolian plate began to westward motion along the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) and the East Anatolian Fault Zone (EAFZ) as a result of the compressional tectonic regime in the Eastern Anatolia region. The NAFZ and the EAFZ intersect with the Varto Fault Zone, approximately 10 km northeast of the Karlıova district of Bingöl, to form the "Karlıova Triple Junction". The study area is located on the Anatolian microplate, to the west of the Karlıova Triple Junction.

In order to determine the tectonic evolution of Tunceli and Elazığ region, paleomagnetic core samples were collected from a total of 19 sites, 15 from Miocene aged volcanic rocks and 4 from Pleistocene aged volcanics. Typical paleomagnetic cylindrical cores were drilled using a portable petrol-powered motorized drill with water-cooling and orientations were determined using both magnetic and sun compasses. Paleomagnetic laboratory studies of this cores have been performed in the KANTEK Paleomagnetism Laboratory. Standard paleomagnetic demagnetization tests have been applied to the all paleomagnetic samples, and demagnetization steps are shown on Zijderveld and Stereographic projections. After the demagnetization processes, the mean magnetization directions were calculated and the obtained rotations were shown on the relevant maps.

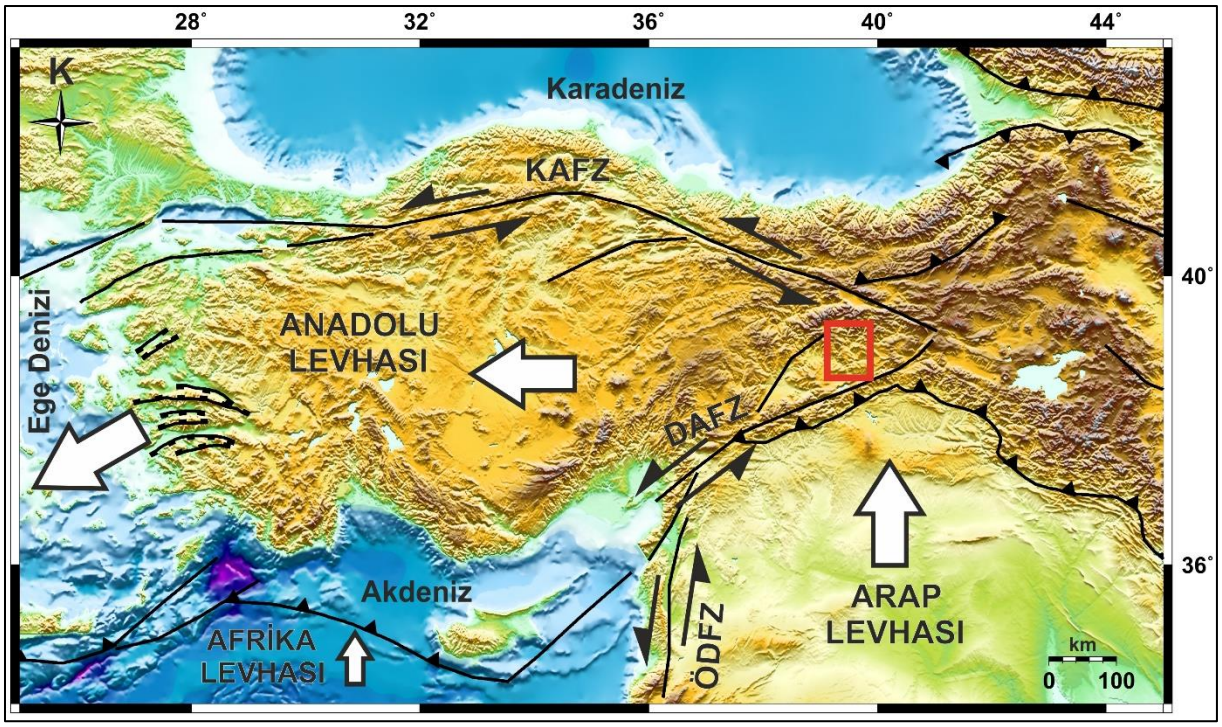
According to the our paleomagnetic results , Quaternary rocks in the south of the study area show an average of ~ 28° rotation in the counterclockwise direction. On the other hand a ~ 6° clockwise rotation was obtained from Miocene volcanic rocks. It is observed that the Miocene aged rocks in the study area also show different rotations within themselves.

Anahtar kelimeler: Anatolian Plate, Micene-Quaternary, Paleomagnetism.

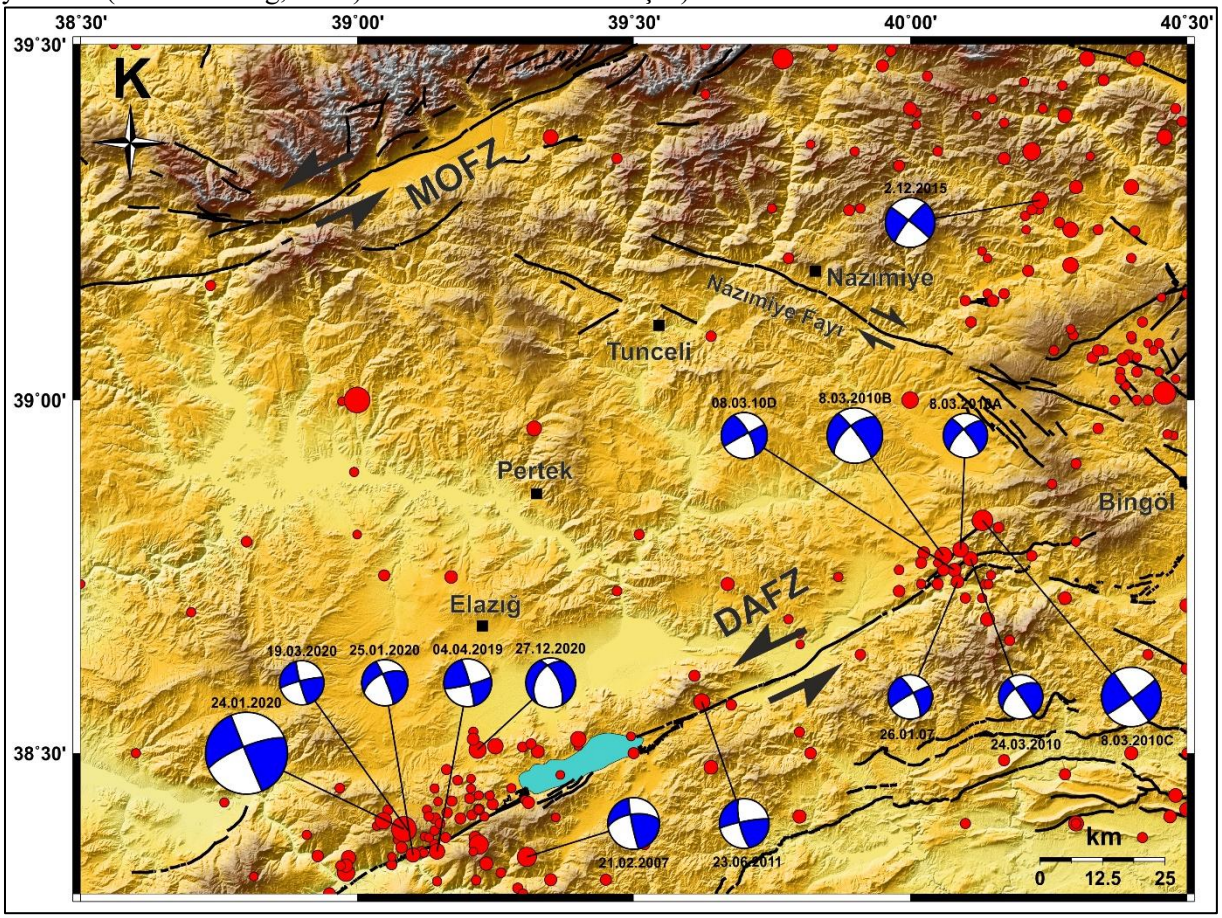
1. Giriş

Neotetis Okyanusu'nun güney kolu, Geç Kretase'den itibaren yakınsayarak Anadolu Bloğu altına (kuzeye) doğru dalmaya başlamış ve Arap levhası ile Anadolu Bloğu'nun, Bitlis Sütur Zonu boyunca çarpışmasıyla bölgede bir kıta-kıta çarpışması gerçekleşmiştir (Dewey vd., 1973; Şengör ve Kidd., 1979; Şengör ve Yılmaz 1981). Bu çarpışma neticesinde bölgede sıkışma meydana gelmiştir.

Miyosen'de başlayan bu kıtasal çarpışma süreci günümüze kadar devam etmekte olup, Doğu Anadolu'da kuzey-güney yönlü bir sıkışmaya sebep olmuştur (Şekil 1). Doğu Anadolu'da meydana gelen bu sıkışma neticesinde, doğu - batı doğrultulu kıvrımlar ve ters faylarla birlikte, çok sayıda kuzeydoğu-güneybatı yönlü sol yanal atımlı ve güneydoğu-kuzeybatı yönlü ise sağ yanal atımlı faylar meydana geldiği, birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmiştir (Şekil 2). (Şaroğlu ve Güner, 1981; Şengör ve Yılmaz, 1981, Şengör ve diğ, 1985; Dewey ve diğ, 1986; Hempton, 1987; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988; Dilek ve Moores, 1990; Bozkurt, 2001; Koçyiğit ve diğ, 2001; Dhont ve Chorowicz, 2006).



Şekil 1: Türkiye ve çevresinin ana tektonik unsurları KAFZ Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ; Doğu Anadolu Fay Zonu, ÖDFZ; Ölü Deniz Fay zonu, Kırmızı dörtgen çalışma alanını göstermektedir (GMT yazılımı (Wessel ve diğ, 2013) kullanılarak hazırlanmıştır).



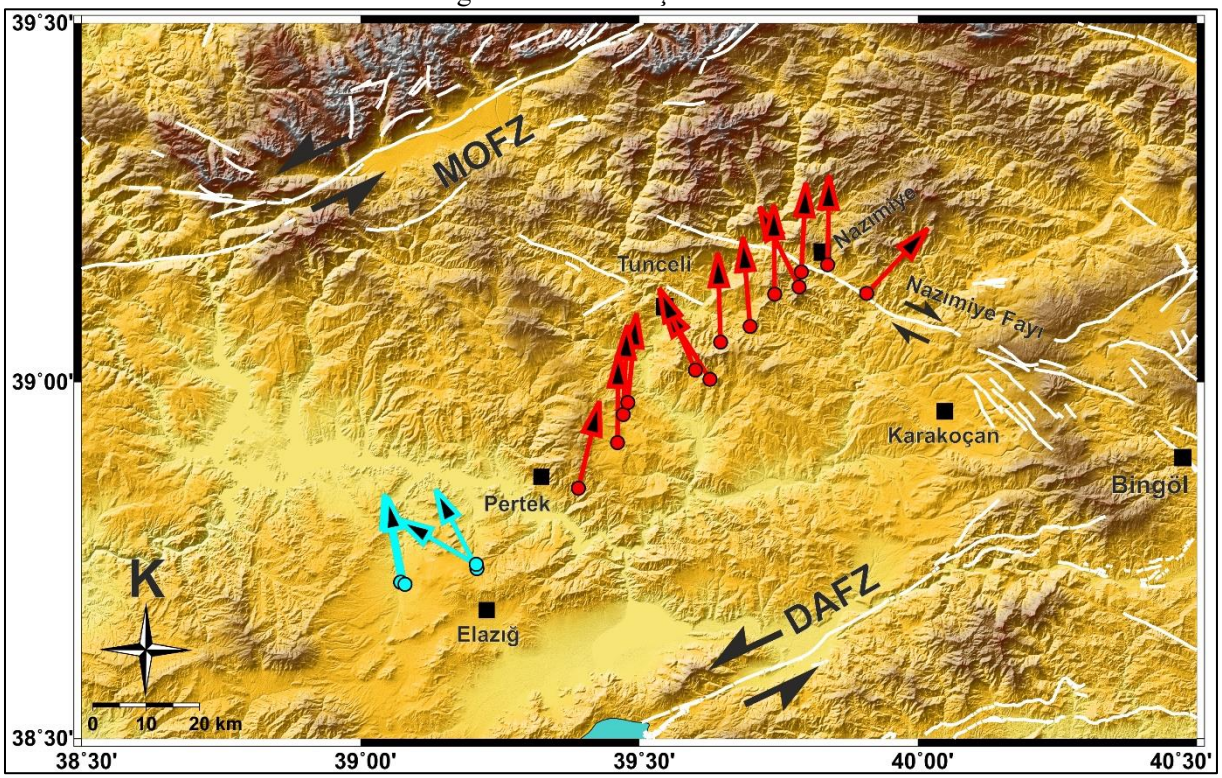
Şekil 2. Çalışma alanı ve civarındaki tektonik unsurlar, meydana gelen depremler ve odak mekanizması çözümleri (Kırmızı ile gösterilen deprem episantr verileri, B.Ü. Kandilli Rasathanesi BDTİM Deprem Sorgulama Sistemi'nden 1900'den günümüze M>4 olarak alınmış olup, odak mekanizması çözümleri ise

"AFAD Deprem Dairesi Başkanlığı, Fay Çözümleri" sisteminden 2007-202, M > 5.0 olarak alınmış olup Faylar Emre ve diğ, (2013)'den derlenmiştir.

Doğu Anadolu'da, 12 My'dan 6 My'a kadar hüküm süren sıkışma tektoniği, 6 My'dan günümüze Anadolu levhası'nın sol yanal atımlı Kuzey Anadolu FayZonu (KAFZ) (Dewey ve Şengör, 1979; McClusky ve diğ, 2000) ve sağ yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) (McKenzie, 1972; Jackson ve McKenzie, 1988) arasında batıya doğru kaçış hareketiyle karşılanmaktadır. Miyosen'den günümüze Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu'nun aktif olduğu (Allen, 1975; Ambraseys, 1970; Barka ve Kadinsky-Cade, 1988) ve bu iki fayın, bir araya geldiği Karlıova Havzası'nda geniş çek-ayır havzaları oluşturduğu belirtilmiştir (Hempton, 1985). Çalışma alanının bulunduğu Tunceli ve Elazığ, Karlıova Üçlü Ekleminin batısında, batıya doğru hareket eden Anadolu levhası üzerinde bulunmakta olup, Kuzey Anadolu Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonu ve Malatya-Ovacık Fay Zonları arasında bulunmaktadır.

2. Paleomanyetik Veri Toplama ve Değerlendirme

Bu çalışmada, Tunceli-Elazığ civarından, Miyosen yaşlı volkanik kayaçlardan 15 Adet ve Pleyistosen yaşlı volkaniklerden 4 olmak üzere toplam 19 mevkiden paleomanyetik yönlü karot numunesi toplanmıştır. Volkanik kayaçlardan yönlü numune toplama işlemi portatif iki zamanlı, elmas uçlu ve su soğutmalı bir karotiyer kullanılarak yapılmış olup karot numunelerin yönlendirme işleminde jeolog (manyetik) pusulası ile birlikte güneş pusulası kullanılmıştır.
Araziden toplanan yönlü paleomanyetik karot numuneler Boğaziçi Üniversitesi – İstanbul Teknik Üniversitesi ortak paleomanyetizma laboratuvarı olan KANTEK Paleomanyetizma Laboratuvarında 1" (inch) boyunda kesilerek ölçüme hazır standart numuneler haline getirilmiş olup Molspin spinner manyetometresi kullanılarak, her bir standart numunenin Doğal Kalıcı Mıknatıslanmaları (DKM) ölçümleri yapılmıştır. Daha sonra her bir mevkiden pilot numuneler seçilerek o mevkinin sahip olduğu karakteristik kalıcı mıknatıslanma bileşenleri elde edilmiştir. Sonrasında her bir mevkiye ait ortalama mıknatıslanma (ChRM) doğrultuları belirlenmiş olup aynı yaşlı mevkilerden elde edilen mıknatıslanma doğrultuları ve lokasyonları harita üzerinde gösterilmiştir. Şekil 3'de Pliyosen yaşlı volkanik kayaçlardan elde edilen ortalama mıknatıslanma doğrultuları verilmiştir.



Şekil 3. Tunceli ve civarındaki mevkilerin ortalama mıknatıslanma doğrultuları (Kırmızı renkli oklar

Miyosen yaşlı mevkileri, Turkuaz renkli oklar ise Pleyistosen yaşlı mevkileri göstermektedir. Faylar Emre ve diğ, (2013)'den derlenmiştir).

3.Tartışma Ve Sonuç

Şekil 3'de kırmızı renkle verilen Miyosen yaşlı kayaçların mıknatıslanma doğrultularına bakıldığında, kuzey-güney doğrultu etrafında küçük salınımlar olsa da Miyosen yaşlı 13 mevki için hemen hemen hiç rotasyonun olmadığı söylenebilmektedir. Mazgirt ilçesi civarındaki iki mevkide saatin tersi yönünde ve Pembelik Barajı batısında yer alan "dal" mevkisinde ise saat yönünde olmak üzere iki bölgede genel tektoniğe uymayan rotasyonlar mevcuttur. Söz konusu rotasyonların olası bağımsız blok hareketlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.
Diğer taraftan yukarıdaki paragraflarda da bahsedildiği gibi, Tunceli-Elazığ arasında KD-GB doğrultulu profil üzerindeki Miyosen yaşlı mevkilerin genel rotasyonu aynı olup, Elazığ kuzeyinde ve batısında yer alan Pleyistosen yaşlı mevkilerin rotasyonlarında Miyosen yaşlı mevkilere nazaran gözle görünür bir farklılık mevcuttur. Zira, Pleyistosen yaşlı 4 mevki için elde edilen rotasyon saatin tersi yönünde ~ 30°'dir. Dolayısıyla Tunceli civarındaki Miyosen yaşlı mevkilerde gözlenmeyen rotasyondan farklı olarak saatin tersi yönünde bir dönme oluşu, en azından Elazığ veTunceli civarının Pleyistosen sonrası aktif bir tektonik rejim etkisinde kalmış olduğunun bir göstergesidir.

Teşekkür / Katkı Belirtme

Bu çalışma, TÜBİTAK tarafından desteklenen 115Y208 No'lu proje ve İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenen İTÜ-BAP38661 No'lu projeler ile maddi olarak desteklenmiştir. Makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakem/hakemlere teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Allen, C. R. (1975). Geological criteria for evaluating seismicity. *Geological Society of American Bulletin, 86,* 1041– 1057.
Ambraseys, N. N. (1970). "Some characteristic features of the Anatolian fault zone", Tectonophysics, *9,* 143-165.
Barka, A. A. & Kadinsky-Cade, K. (1988). Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthqauake activity. *Tectonics*, 7 (3), 663-684.
Bozkurt, E. (2001). Neotectonics of Turkey - a synthesis. *Geodinamica Acta, 14* (1-3), 3-30.
Dewey, J. F., Pitman, W. C., Ryan, W. B. F. & Bonnin, J. (1973). Plate tectonics and the evolution of the Alpine system, *Geological Society of America Bulletin,* 84, 3137– 3180.
Dewey, J.F. & Şengör, A.M.C. (1979). Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and con tinuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin, 90,* 84-92.
Dewey, J.F., Hempton, M.R., Kidd, W.S.F., Şaroglu, F., Şengör, A.M.C. (1986). Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia - a young collision zone, In Coward, M.P. and Ries, A.C. (eds.), Collision Tectonics, *Geological Society of London Special Publication 19,* 3-36.
Dilek, Y. & Moores, E. (1990). "Regional tectonics of the eastern Mediterranean ophiolites", In J. Malpas, E. Moores, A. Panayiotou and C. Xenophontos (eds.), Ophiolites-oceanic crustal analogues. Proceed. *Int. Troodos Ophiolite Symp*., Cyprus, 1987, p. 295-309.
Dhont, D. & Chorowıcz, J. (2006). Review of the neotectonics of the Eastern Turkish-Armenian Plateau from geomorphic analysis of digital elevation model imagery, *International Journal of Earth Sciences, 95,* 34-49.
Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, S., Şaroğlu, F., (2013). Active fault map of Turkey with an explanatory text 1:1,250,000 scale. *General Directorate of Mineral Research and Exploration, Special Publication Series, 30.*
Hempton, M.R. (1985). Structure and deformation history of Bitlis suture near Lake Hazar, southeastern Turkey. *Geological Society of America Bulletin, 96,* 233-243.
Hempton M.R. (1987). Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red sea. *Tectonics, 6,* 687-705.

Jackson, J. & McKenzie, D. (1988). The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East. *Geophysical Journal*, *93*, 45-73.

Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., & Kuloshvili, S. (2001). Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and lesser Caucasus: implications for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodinamica Acta, 14*, 177–195.

McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A. Demir, A., Ergintav, C., Georgiev, S., L., Gürkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H. G., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R.E., Şanlı, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M. N. & Veis, G. (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research, 105 (5)*, 695–720.

McKenzie, D. P. (1972). Active Tectonics of the Mediterranian Region. *Geophysical Journal of Royal Astronomical Society*. *30*, 109-185.

Şaroğlu F. & Güner Y. (1981). Doğu Anadolu'nun jeomorfolojik gelişimine etki eden öğeler: jeomorfoloji, tektonik, volkanizma ilişkileri. *Türkiye Jeoloji Kurumu bülteni*, *24*, 39–50.

Şengör, A. M. C. & Kidd, W. S. F. (1979). The post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian Plateau and a comparison with Tibet. Tectonophysics, *55*, 361–376.

Şengör, A. M. C. (1980). Türkiye'nin neotektoniğinin esasları. *TJK Yayınları*, Ankara.

Şengör , A.M.C., Yılmaz, Y., (1981). Tethyan evolution of Turkey: a plate tectonic approach. *Tectonophysics 75*, 181–241.

Şengör, A. M. C., Görür, N. & Şaroğlu, F. (1985). Strike slip faulting, and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study; Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation. Biddle and ChristieBlick, edt., *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 37*, 227-264.

Wessel, P., Smith, W. H. F., Scharroo, R., Luis, J. F. & Wobbe, F. (2013). Generic Mapping Tools: Improved version released, *EOS Trans. AGU, 94*, 409-410.

Kritik Metallerin İkincil Kaynaklardan Hidrometalurjik Yöntemler ile Kazanımı

M.Demet OKUDAN[1,a], Ceren ERÜST*[2,b]

[1]Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Hamidiye Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, 34668, İstanbul, Türkiye

[2]Mineral-Metal Kazanım ve Geri Dönüşüm (MMR&R) Araştırma Grubu, Maden Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, TR32260 Isparta, Türkiye

Öz

Ülkelerin uygulama ve hedeflerinde yer alan rüzgar türbinleri, fotovoltaik paneller, elektrikli araçlar ve verimli ışık yayan diyot (LED) teknolojileri gibi düşük karbonlu teknolojilere geçişte kritik metallere olan küresel talep hızla artmaktadır. Yaşam standartlarının yükselmesi ve ürünlerin kullanım ömürlerinin kısalması nedeni ile kritik metallere olan talep, yalnızca mevcut küresel birincil kaynaklardan üretim ile karşılanamamaktadır. Bu kritik metallerin güvenli ve sürdürülebilir tedarikini sağlamak için kullanım ömrü dolmuş ürünler gibi ikincil kaynaklardan kazanılmasına yönelik faaliyetler genişletilmektedir. Ürünlerin heterojen yapısı ve kritik metallerin miktar olarak düşük içeriği nedeni ile mevcut geri dönüşüm sistemleri yetersiz kalmakta ve kritik metallerin tekno-ekonomik olarak kazanımı sağlanamamaktadır. Artan çevre bilinci ile kullanılan reaktiflerin çeşitlendirilmesinin yanı sıra klasik yöntemlere olan güven ile döngüsel bir ekonomiyi mümkün kılmak için çok çeşitli hidrometalurjik yöntemlerin kullanıldığı yenilikçi geri dönüşüm sistemlerine yer verilmektedir. Bu makale, son 5 yılda yapılmış 150'den fazla çalışmayı özetlemekle kalmayıp aynı zamanda gelecek trendler hakkında da bilgi vermektedir. Özellikle disiplinler arası yaklaşımlar ve farklı teknolojilerin kombinasyonu gibi yenilikler ile kritik metallerin ikincil kaynaklardan kazanımı değerlendirilmektedir.

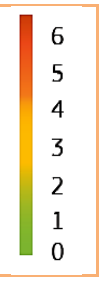
Anahtar kelimeler: Atık, Hidrometalurji, İkincil kaynaklar, Kritik metaller, Kazanım, Liç

1. Giriş

Kritik metaller, ülkelerin siyasi ve ekonomik durumları, hammadde arz yoğunluğu, tedarik daralmaları, ikame potansiyeli, geri dönüşüm oranları ve bunların ekonomi üzerindeki etkileri dikkate alınarak belirlenen metal veya metal gruplarından oluşmaktadır (Ulusal Araştırma Konseyi, 2008). 2020 yılında Avrupa Komisyonu, birçok önemli teknoloji için kritik olan ve olası nedenler ile önemini vurguladığı kritik öneme sahip hammaddelerin bir listesini yayınlamıştır (Avrupa Komisyonu, 2020a). Bu listede 27 materyal ve 3 element grubu yer almaktadır (Avrupa Komisyonu, 2020a). Üç element grubu; Platin Grup Metalleri (PGM) (iridyum, paladyum, platin, rodyum, rutenyum), Ağır Nadir Toprak Elementleri (ANTE) (disporsiyum, erbiyum, evropiyum, gadoliniyum, holmiyum, lutesyum, terbiyum, tulyum, iterbiyum, itriyum) ve Hafif Nadir Toprak Elementlerini (HNTE) (lantanyum, seryum, praseodim, neodimyum, samaryum) içermektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Kritik öneme sahip hammaddelerin arz riski sıralaması

Antimon	**Doğal kauçuk**	**İndiyum**	**Silikon metal**	**HNTE**
Barit	Fosfat kayaları	Kobalt	Skandiyum	PGM
Berilyum	Fosfor	Koklaşabilir taş kömürü	Tantalyum	Boksit
Bizmut	Galyum	Kalsiyum florit	Tungsten	Lityum
Borat	Germanyum	Magnezyum	Vanadyum	Titanyum
Doğal grafit	Hafniyum	Niyobyum	ANTE	Stronsiyum



Avustralya hükümeti bu mineralleri, yenilenebilir enerji, havacılık, savunma teknolojileri, otomotiv (e-mobilite), telekomünikasyon ve tarım teknolojisi dahil olmak üzere artan ekonomik ve stratejik önemi olan çeşitli sektörlerde kullanılan yüksek teknoloji uygulamalarının sağlayıcıları olarak tanımlamaktadır. Kritik Mineraller Stratejisi kapsamında 2019 yılında 24 kritik mineral tanımlamıştır (Avustralya Ticaret ve Yatırım Komisyonu, 2020). Benzer şekilde, Kanada hükümeti de sürdürülebilir ekonomik başarısı için kritik olduğunu düşündüğü 31 hammaddeden oluşan bir liste yayınlamıştır (Green Car Congress, 2021). Ülkeler oluşturdukları bu kritik öneme sahip hammaddelerin listeleri ile küresel talebi karşılamak için güvenli ve dayanıklı tedarik zincirlerini desteklemeyi hedeflemektedir.

Kritik öneme sahip hammaddeler listesinde yer alan ve teknoloji metalleri (tech-metals) olarak da bilinen kritik metaller özellikle rüzgar türbinleri, fotovoltaik paneller (Photovoltaics, PVs) gibi yenilenebilir enerji kaynakları, elektrikli araçlar (Electric vehicles, EVs), savunma sanayi, havacılık ve dijital teknolojiler gibi stratejik öneme sahip sektörlerin geliştirilmesi için temel ön koşullardır. Özellikle düşük karbonlu teknolojiler şu anda küresel kritik hammadde tüketiminin %20'sini oluşturmaktadır (Hache vd., 2019). Paris Anlaşması (UNFCCC, 2015), Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli raporundaki 1,5°C hedef (IPCC, 2018) ve Birleşmiş Milletlerin Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinin (Birleşmiş Milletler, 2015) uygulanmasına yönelik küresel ilginin hakim olması ile kritik metaller giderek daha önemli hale gelmektedir. Temiz enerji teknolojilerinde halihazırda olan büyüme ile kritik minerallere olan talep küresel salgından önce bile arzı zorlaştırmışken, COVID-19 salgını arz ve talep sorunlarını daha da şiddetlendirmiştir (Akcil vd., 2020). Bunların sonucunda, kritik metallerin doğal kaynakları hızla tükendiğinden, ülkeler bu metaller için alternatif hammadde arayışına başlamıştır. Birincil kaynakların yanı sıra kullanım ömrü dolmuş ürünler gibi ikincil kaynaklardan metal kazanımı yolu ile kritik metallerin döngüsel ekonomiye kazandırılması araştırmaların odak noktasındadır (Patil vd., 2021).

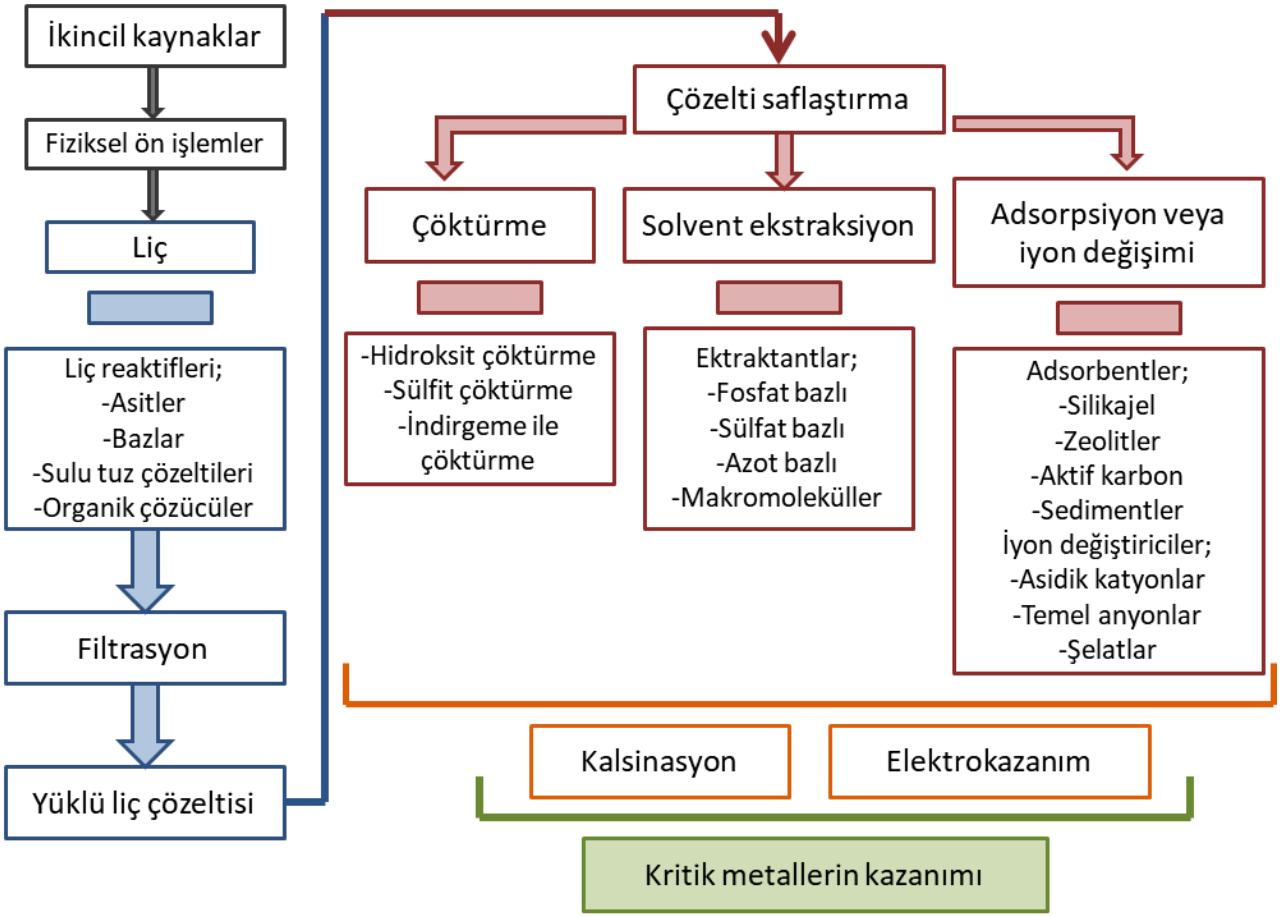
Araştırma faaliyetleri, mevcut ve yeni tanıtılan işleme tekniklerini kullanarak kritik metal kazanımının maksimum verimliliğini ve etkililiğini elde etmeye ilişkin teknik kısıtlamalara çözümler bulma eğilimindedir. Bu inceleme makalesi, ikincil kaynaklardan kritik metal kaynaklarının kazanımında uygulanan çeşitli hidrometalurjik yöntemler ile ilgili mevcut bilgi birikiminin bir özetini ve ilgili çalışmaları sunmakta ayrıca gelecek stratejileri hakkında da bilgi vermektedir.

2. Kritik metallerin kazanımında kullanılan hidrometalurjik yöntemler

Sürdürülebilir kalkınmanın ekonomi ve çevre boyutları açısından kullanılmış ürün atıklarının yönetimi, hem malzemelerin ikincil kaynaklar olarak kullanılmasını, hem de ürünlerin içeriğindeki zararlı maddelerin çevre kirliliğine yol açabilecek negatif etkilerinin minimize edilmesini sağlaması sebebi ile oldukça önemli bir konu haline gelmiştir (Sayman ve Akpulat, 2016). Ülkeler, içerdiği kritik metallerin yüksek potansiyelleri nedeni ile kullanım ömrü dolmuş düşük karbonlu teknolojilerden metal kazanımına yoğunlaşmaktadır. Bunun için bir veya daha fazla fiziksel ön işlemin ardından pirometalurjik veya hidrometalurjik yöntemler tercih edilmektedir (Brückner vd., 2020). Pirometalurjik yöntemler, endüstrilerde, metallerin yüksek verimlilikle geri kazanılması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Pirometalurjik işlemler Inmetco, Umicore ve Xstrata gibi ticari kuruluşlar tarafından benimsenmiştir, ancak bağlayıcı ve organik elektrolitlerin yakılması, yüksek enerji gereksinimi ve kritik metallerin kaybı nedeni ile maliyetlidir (Sattar vd., 2019). Birçok araştırmacı, bu yöntemlerin malzeme kayıpları ve tehlikeli gaz emisyonlarına yol açması ve enerji talebindeki artış nedeni ile hidrometalurjik işlemlere göre

daha yüksek çevresel etkiye sahip olduğunu bildirmiştir (Akahori vd., 2014; Schulze vd., 2018). Geri dönüştürülmüş ürünlerin ana madencilik tedarikiyle rekabet etmesi gerekmektedir (Jha vd., 2016).

Hidrometalurjik yöntemler ise ikincil kaynakların içerdiği kritik metalleri düşük enerji gereksinimi ve operasyonel seçicilik ile saf metal formlarına (tuzlar, hidroksitler, metaller) dönüştürmek için uygulanabilecek en uygun yöntemlerdir (Xiu vd., 2017). Hidrometalurjik yöntemler, liç yönteminin ardından çöktürme, sıvı-sıvı ekstraksiyon, adsorpsiyon ve iyon değişimi gibi çözelti saflaştırma tekniklerine dayanmaktadır (Sethurajan vd., 2019; Venkatesan vd., 2018; Yurramendi vd., 2019) (Şekil 1). Son zamanlarda, maliyeti ve yüksek asitlik koşullarında uyumsuzluğu kullanımını zorlaştırsa da metal-organik çözücü tabanlı yöntemler de yeşil bir alternatif olarak görülmekte ve üzerine araştırma faaliyetleri gerçekleştirilmektedir (Cheisson vd., 2019; Sun vd., 2018).



Şekil 1. Kritik metallerin kazanımı için uygulanan hidrometalurjik yöntemler

Fiziksel ön işlemlerin ardından uygulanan liç yöntemi kritik metallerin çözünmesinde önemli bir role sahiptir. Seçilen reaktifler, uygulanacak materyalin kimyasal içeriğine (metal sülfat, metal oksit vb. formlar) göre belirlenmektedir (Lu ve Xu, 2016). Metaller, farklı deney koşulları altında HNO_3, H_2SO_4, HCl gibi güçlü inorganik asitler veya NH_3, $NH_4(OH)$, $(NH_4)_2CO_3$ gibi bazik çözücüler ile çözelti ortamına alınabilirler. Gerek metal sülfür, gerekse metal oksitler, $FeCl_3$, $CuCl_2$ ve NaCN'nin sulu liç çözeltilerinde liç oksidant reaktifler ile birlikte kullanılmaktadır. Özellikle metallerin kazanımında, asidik çözelti içinde güvenli, güçlü ve çok yönlü bir oksidant olan hidrojen peroksitin (H_2O_2) ortak reaktant olarak yaygın şekilde kullanımı mevcuttur (Birloaga, 2013; Swain vd., 2016). O_2, Cl_2, ClO_3^- iyonları da oksidant olarak tercih edilmektedir (Ding vd., 2019; Jha vd., 2016).

Uygun indirgeyici reaktifler varlığında, materyallerinin tamamen çözünmesinde inorganik asitlerin kullanımı büyük bir avantaj olarak kabul edilse de, çözelti ayırma ve saflaştırma proseslerinde kritik metallerin seçimli olarak ayrılmasında bazı dezavantajlar yaratabilmektedirler (Sattar vd., 2019). Organik asitler çoğunlukla yalnızca seçici katot malzemelerine uygulanabilmektedir (Tablo 4'te $LiCoO_2$ için özetlendiği gibi) (Chabhadiya vd., 2021; Golmohammadzadeh vd., 2018; Verma vd., 2019). Genellikle zaman alıcı olan, verimli liç için ince öğütme gerektiren ve yüksek reaktif tüketimine yol açsa da daha çevreci bir çözücü alternatifi olan organik çözücüler üzerinde son yıllarda araştırma faaliyetleri genişletilmekte ve önemli gelişmeler kaydedilmektedir (Li vd., 2018; Xiu vd., 2017).

Çözelti filtrasyon ile ayrıştırılmakta ve kazanımı hedeflenen kritik metalleri izole etmek ve zenginleştirmek için çöktürme, solvent ekstraksiyon, adsorpsiyon ve iyon değişimi gibi çözelti saflaştırma yöntemleri uygulanmaktadır (Cui vd., 2008). Çöktürme, metal içeren yüklü liç solüsyonlarından metal değerlerinin uzaklaştırılması veya geri kazanılması için yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardan birisidir. Sülfürler, hidroksitler ve karbonatlar en sık kullanılan çökeltici maddelerdir. Çökeltici ajanların eklenmesi üzerine, sistemlerin iyonik dengesi kaydırılır, böylece hedeflenen metallerin çökelmesi sağlanır (Wang vd., 2005). Bazı kritik metaller herhangi bir metalden önce pH ayarlaması ile kolayca çökelmektedir (Kucuker, 2018). Örneğin; Nd, 0,5 M sodyum hidroksit ilavesiyle 0,8 pH değerinde tamamen (>% 99) çöktürülerek seçimli olarak kazanımı sağlanmaktadır (Lee vd., 2013; Kucuker, 2018).

Solvent ekstraksiyon (veya sıvı-sıvı ekstraksiyon) da, metallerin seçimli olarak ayrılması için tercih edilen bir seçenektir ve genellikle sulu asidik solüsyon ve alifatik organik solventten oluşan karşılıklı olarak karışmayan sıvı fazlar arasında bir çözünen maddenin tercihli iki fazlı dağılımını içermektedir. Son yıllarda birçok endüstriyel süreç ve ürünün de solvent ekstraksiyonu aşamasında kullanılan iyonik sıvılar (Ionic Liquids, ILs), erimiş tuzlar ve organik çözücüler arasında ara özelliklere sahip iyonlardan oluşan çözücülerdir (Plechkova ve Seddon, 2008). İyonik sıvılar, sıvı-sıvı ekstraksiyonu için uçucu organik çözücülerle karşılaştırıldığında çevre dostu ortam olarak önerilmesinden bu yana (Huddleston vd., 1998), çözücü ekstraksiyonu için kullanımı giderek artmıştır. Uygun IL seçimi ile seçimli metal kazanımı sağlanırken atık üretimi ve asit tüketimi en aza indirilerek mevcut hidrometalurjik geri dönüşüm süreçlerine çevre dostu bir alternatif sunulabilir (Schaeffer vd., 2018).

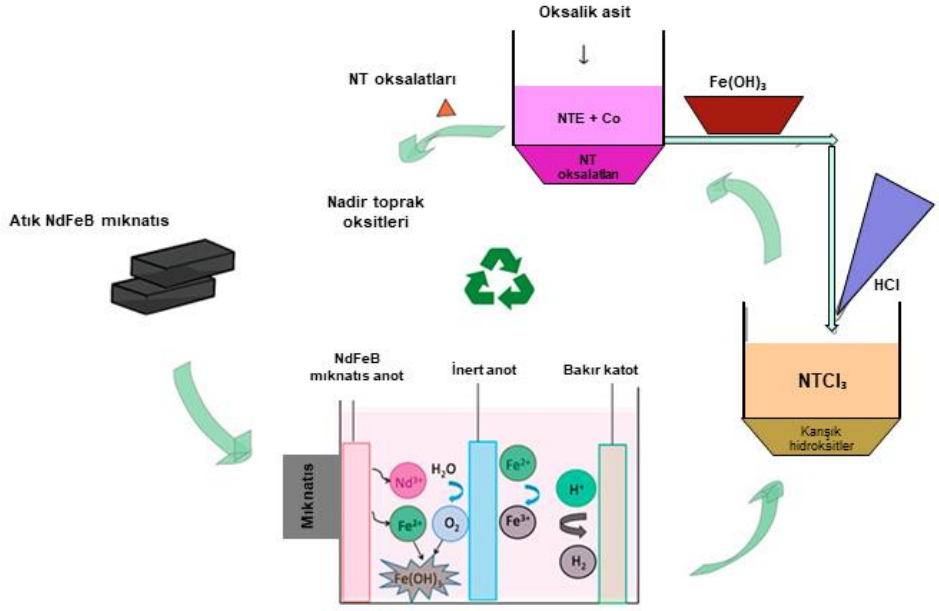
Adsorpsiyon yöntemi, işlem tasarımı ve işletimindeki basitliği nedeni ile PGM'lerin kazanımında saflaştırma teknolojisi olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Aktif karbonlar, yüklü çözeltilerden geri kazanılan PGM'ler için ticari olarak kullanılan en yüksek adsorbanlardır. Düşük maliyetli ve çevre dostu adsorbanların geliştirilmesi, metallerin geri kazanımının pratik uygulamaları için büyük önem taşımaktadır (Dabrowski, 2001). Tanen adsorbanları da içerdikleri hidroksil grupları sayesinde ağır metal katyonlarını uzaklaştırma ve güçlü asidik çözeltilerden Au(III) ve Pd(II)'un kazanımı konusunda olağanüstü bir yetenek göstermiştir. Bu özellikleri ile e-atıkların liçinden değerli metallerin geri kazanılmasında geniş bir uygulama alanına sahiptir (Santos vd., 2019).

Hidrometalurjik süreçlerde, çözelti saflaştırma aşamasında iyon değişim reçineleri (ion exchange, IEX) ile liç sıvılarından kritik metallerin kazanımı yıllardır kullanılan yöntemler arasındadır (Bukowsky vd., 1991; Grosse, 2002). Ticari IEX reçineleri, reçinelerdeki karşı iyonlar ve çözeltilerdeki metal-tiyosülfat kompleksi arasındaki tersine çevrilebilir iyon değişim reaksiyonları yoluyla sağlanmaktadır (Zhang ve Dreisinger, 2004). Avrupa Komisyonu tarafından 2020 yılında kritik hammadde kategorisine eklenen lityum da, kullanılmış lityum iyon bataryaları (LIB)'ndan liç yönteminin ardından çöktürme, iyon değişimi ve elektroliz yoluyla kazanımı başarı ile uygulanmaktadır (Meng vd., 2019; Meshram vd., 2014; Shuva ve Kurny 2013). Stin ve Allanore (2021)'de LIB geri dönüşümünü kolaylaştırmak için yeni bir oksit-sülfit anyon değişim yöntemi uygulamış ve kritik metallerin seçimli olarak kazanımını sağlamıştır.

Hidrometalurjik yöntemlerin son basamağı olarak kalsinasyon veya elektrokazanım gibi işlemlerle saf metal bileşikleri elde edilmektedir (Cui ve Zhang, 2008). Ayırma veya saflaştırma ünitesinden gelen akımlardaki metal iyonları konsantrasyonlarının yüksek olması beklenmektedir. Kalsinasyon işleminde fırında belirli sıcaklık ve sürede materyalin kalsine edilmesinden sonra kristalin malzeme elde edilir (Saratale vd., 2020). Elektrokazanım (Electrowinning, EW), Cu ve Pb gibi baz metallerin seçici geri kazanımı için elektronik atıklara başarıyla uygulanmaktadır (Mecucci ve Scott, 2002). Bununla birlikte,

kritik ve değerli metallerin seçici olarak geri kazanılmasına yönelik EW teknolojisi uygulaması hala erken aşamalarındadır. Örneğin, PGM'lerin EW ile seçici olarak ayrılması, özellikle Cu ve Al varlığında zordur (Grosse vd., 2003). Ancak Chehade ve arkadaşları (2012) birkaç aşamalı elektrokazanım ünitesi kullanarak her bölmede bir farklı metal katotlar ile önce bakır sonra sırası ile altın, paladyum ve gümüşü yüksek saflıkta elde etmişlerdir.

Elektrokazanım, aşamalı süreçlerde son basamak olarak uygulanırken son yıllarda NdFeB mıknatıslar, Li-iyon piller için ön işlem olarak kullanımı da yaygınlaşmıştır. Venkatesan ve arkadaşları (2018), atık NdFeB mıknatıslardan NTE'lerini ilgili hidroksitlere dönüştürmek için bir elektroliz ön işlem adımı gerçekleştirmişlerdir. Atık NdFeB mıknatıslardaki demirin, karışık hidroksit çökeltisinde Fe(III) formuna dönüştürülmesini sağlamak için inert bir anot kullanılmıştır. HCl asit liçi, oksalik asit ile çöktürme ve kalsinasyon yöntemlerinin ardından yüksek saflıkta (%99,2) nadir toprak (NT) oksitleri elde edilmiştir (Şekil 2). Kullanılmış lityum iyon pillerin geri dönüşümünde de benzer yaklaşımlar benimsenmektedir. Kalıntılarda kalan geçiş metalleri ile yeni katot malzeme türleri geliştirilerek yeşil ve çevre dostu bir geri dönüşüm stratejisi önerilmektedir (Liu vd., 2020b). Süspansiyon elektrolizi olarak da adlandırılan bu yöntemle, Li ve arkadaşları (2020), kullanılmış $LiFePO_4$ (LFP) katot malzemesinden LiOH üretimi için çevre dostu ve uygun maliyetli bir süreç geliştirmiştir.



Şekil 2. Elektroliz ön işlem adımı ile atık NdFeB mıknatıslar için önerilen geri dönüşüm şeması (Venkatesan vd., 2018)

Yeni bir hidrometalurjik süreç tasarlanırken, kararlar ve proses alternatifleri arasında karşılaştırma yapılması oldukça önemlidir. Matematiksel modellerle tanımlanabilecek faktörlere göre karşılaştırmalı analiz yapma, sınıflandırma ve ölçeklendirme ile uygulanacak prosesleri belirlemek gerekmektedir. Farklı birim süreçlerden ve bunların alternatiflerinden oluşan hidrometalurjik süreç yolları, uygulanacak ikincil kaynak türü ve içeriğine göre her geçen gün genişlemektedir.

3. İkincil kaynaklar

3.1. Fotovoltaik paneller

Fotovoltaik teknoloji, iklim politikalarının hedeflerinin karşılanması, küresel enerji güvenliğinin ve ekonomik sürdürülebilirliğin sağlanmasında en umut verici ve popüler teknolojilerden birisidir. Diğer enerji ve elektrik üretim teknolojileriyle kıyaslandığında temiz enerji olması sebebi ile gördüğü ilgi, günden güne katlanarak artmaktadır (IEA-PVPS, 2018; Chowdhury vd., 2020; Domínguez ve Geyer,

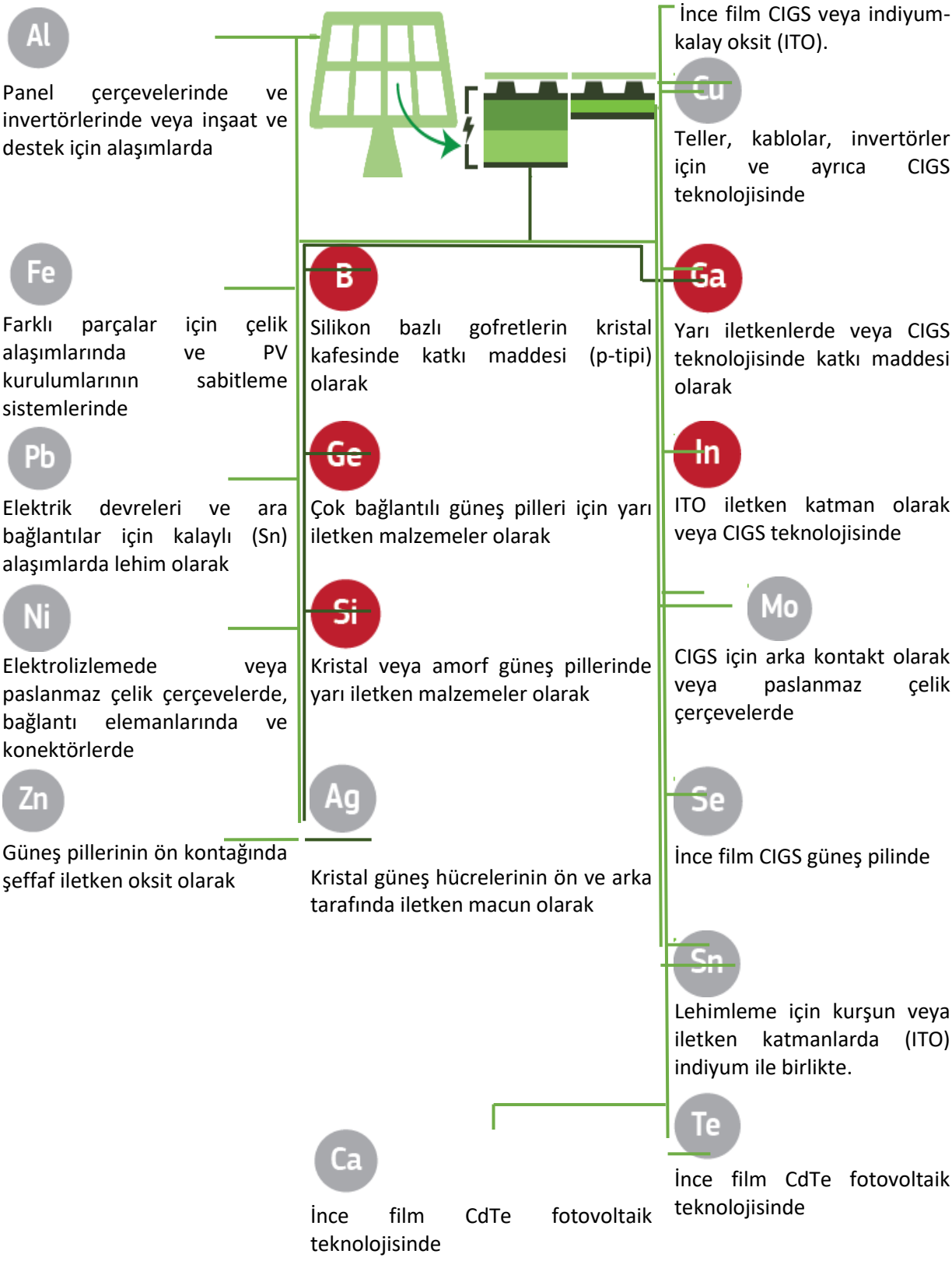
2018). Fotovoltaik panellerin ortalama ömrü 25-30 yıl ile sınırlı olup sonrasında atık elektrikli ve elektronik ekipman (AEEE) akışına girmektedir. 2050 yılında dünya çapında 60-78 milyon ton fotovoltaik panellerin atığa ayrılacağı tahmin edilmektedir (Weckend vd., 2016). Fotovoltaik teknolojinin geleneksel enerji kaynaklarının küresel kıtlığını azaltması ve düşük karbonlu enerjiye geçişi kolaylaştırmasında oynadığı önemli role rağmen artan atık miktarı fotovoltaik endüstrisinin yeşil ve sürdürülebilir gelişimini olumsuz etkilemektedir (Guo vd., 2021). Ömrünü tamamlamış fotovoltaik panellerin (end-of-life photovoltaic panels, EoL-PVPs) doğrudan doğaya bırakılması ve uygun bertaraf yöntemleriyle bütüncül bir şekilde işlem görmemesi atıklardaki metallerin (kurşun, kalay, kadmiyum, bakır, silikon) (Kwak vd., 2020) sızmasına sebep olarak çevre açısından endişe yaratmaktadır (Savvilotidou ve Gidarakos, 2020; Mahmoudi vd., 2019; REC-Group, 2018).

EoL-PVPs, önemli miktarda değerli metalleri ve toksik metalleri içermektedir (Chowdhury vd., 2020; Mahmoudi vd., 2019). Hatta kritik metallerin de varlığı sebebi ile geri dönüşümleri oldukça önem kazanmaktadır (Salim vd., 2020). Bu sebeplerden dolayı fotovoltaik paneller kullanım ömrü dolduğunda tehlikeli atık olarak yönetilmelidir (Environment Canada, 2010). Ticari uygulamalarda kullanılan fotovoltaik teknolojiler, c-Si (mono-kristal (m-Si) veya polikristal silikon (p-Si) teknolojileri ve amorf silikon (a-Si), bakır indiyum galyum selenid (CIGS) veya CdTe hücrelerinden oluşan ince film (TF) teknolojilerini içermektedir. Fotovoltaik panellerin sahip olduğu toksik maddeler, kullanılan teknolojiye göre büyük ölçüde değişmektedir. Örneğin TF paneller kadmiyum, galyum ve tellür gibi metalleri içerirken, c-Si genellikle kurşun ve gümüş içermektedir (Tao ve Yu, 2015). Küresel çapta fotovoltaik panel kapasitesinin yaklaşık %95'ini c-Si teknolojisi oluşturmaktadır (Fraunhofer Institute, 2019). Kristal silikon PV modülleri, yerkabuğunda bol miktarda bulunmasına rağmen, son zamanlarda hem ekonomik hem de çevresel açıdan yüksek öneme sahip olması nedeni ile Avrupa Komisyonu tarafından AB için kritik hammaddeler listesine dahil edilen önemli miktarda silikon içermektedir (Avrupa Komisyonu, 2020b). PV hücrelerinin üretiminde yarı iletken malzemelerin yanı sıra gümüş, silika, alüminyum ve bakır gibi metaller de kullanılır. Tablo 2'de fotovoltaik sistemlerde yaygın olarak kullanılan hammaddeler ve fonksiyonları listelenmiştir (Bobba vd., 2020).

Yenilenebilir enerjinin AB'de ve dünya çapında hızla yayılması, fotovoltaik teknolojilerde kullanılan yüksek arz riskine sahip silikon, indiyum, galyum, germenyum ve boratlar gibi kritik hammaddelerin tedariki üzerinde kaçınılmaz bir baskı oluşturmaktadır. Bununla birlikte bakır, kadmiyum, selenyum, gümüş ve tellür gibi diğer hammaddelerin arz riski daha düşüktür. AB, fotovoltaik teknolojilerde kullanılanılan hammaddelerin %6'sını tedarik etmektedir. Birçok ülke hammadde tedarikine katkıda bulunmakta ve bu nedenle bu aşamadaki tedarik riski "orta" olarak kabul edilmektedir (Bobba vd., 2020). PV atıkların geri dönüşümü, özellikle içerdikleri kritik metaller sebebi ile hammadde tedarikini sürdürmek için çok önemli bir adımdır (Tao ve Yu, 2015). Böylece, farklı üretim zincirlerinde geri kazanımları ve yeniden kullanımları ile döngüsel ekonomi hedefleri doğrultusunda kaynakların korunması ve artan güneş enerjisi sektörlerinin sürdürülebilirliği sağlanmış olacaktır (Domínguez ve Geyer, 2017; Domínguez ve Geyer, 2019; Faircloth vd., 2019).

Geçmişte EoL-PVPs yönetimi üzerine yapılan sınırlı çalışma olmasıyla beraber yapılan çalışmaların odak noktasını çoğunlukla küresel ısınma potansiyeli (Global Warming Potantiel-GWP) ve enerji verimliliği oluşturmaktaydı. 2010 yılı itibariyle nihayet EoL yönetimi önem kazanarak çevresel etkiler açısından dikkate alınmaya başlamıştır (Chung vd., 2021). Paiano (2015), EoL aşamasındaki önemli katkısına dikkat çekerek dünya çapında kurulu olan fotovoltaik sistemlerin %80'den fazlasını oluşturan c-Si fotovoltaik panellerin, farklı evrelerdeki çevresel etkilerini karşılaştırmıştır. Ayrıca araştırmacılar, kaynakların (örn., bakır, alüminyum, gümüş) önlenen etkiler olarak geri kazanımının yararlarını yansıtmak için fotovoltaik panellerin farklı geri dönüşüm senaryolarına (yüksek/düşük verimli geri kazanım) ilişkin karşılaştırmalı Yaşam Döngü Analizlerini (YDA) ortaya koymuşlardır (Ardente vd., 2019; Corcelli vd., 2018).

Tablo 2. Fotovoltaik teknolojilerde kullanılan hammaddeler (Bobba vd., 2020)



●Kritik hammaddeler

Bugüne kadar yapılmış olan çalışmalar, PV atıklarının geri dönüşümünün birçok aşamadan oluşmasına rağmen %90'ının tamamen geri dönüştürülülebildiğini göstermektedir (Bogacka vd., 2017; Maani vd.,

2020). Chung vd. (2021), atık c-Si fotovoltaik panel hücresinden değerli metalleri elde etmek amacıyla HNO_3 liçine alternatif olarak I_2-KI liçini araştırmışlar ve 1:10 k/s oranı, 0,35 M I_2 konsantrasyonu, 0,7 M I^- konsantrasyonu ve 10 dk liç süresi sonucunda %95 Ag verimi elde etmişlerdir. Savvilotidou ve Gidarakos (2020), yaptıkları çalışmada özellikle atık p-Si, m-Si ve CIS (Cu-In-Se) panellerinden kritik metalleri elde etmek amacıyla 1 M H_2SO_4, 0,01 k/s oranı, 90°C sıcaklık, 500 dev/dk karıştırma hızı, 1 saat liç süresi koşullarında % 96,1 In verimi elde etmişlerdir.

3.2. NdFeB mıknatıslar

Son yıllarda, manyetizma, Nadir Toprak Elementleri (NTE) de dahil olmak üzere kalıcı mıknatısların (Permanent Magnet-PM) ilerlemesiyle önemli ölçüde gelişmiştir (Furlani, 2001). Neodyum-demir-bor (NdFeB) kalıcı mıknatıslar, demirli mıknatıslara göre olağanüstü dayanıklılığa ve daha düşük maliyete sahip olup (Atwood, 2012) üstün manyetik özellikleri, zorlayıcı kuvvetleri ve enerji yoğunluğu nedeni ile modern endüstri ve elektronik teknolojisinde yüksek performanslı cihazlarda büyük ölçekte kullanılmaktadır (Kim vd., 2015). Şu anda, dünya çapında üretilen NTE'lerin %26'sı NdFeB mıknatısların üretiminde kullanılmaktadır (Goonan, 2011).

Günümüzde atık sorunlarının artması ve NTE kaynaklarının hızla azalması özel çalışma alanları yaratırken, atık NdFeB mıknatısların geri dönüşümü son derece önemli hale gelmiştir (Lee vd., 2013). Ömrünü tamamlamış NdFeB mıknatıslar önemli ikincil NTE kaynakları olup (Liu vd., 2020c) yaklaşık %30 neodimyum ve diğer NTE'leri içermektedir (Kumari vd., 2018). NdFeB mıknatıslar için özel uygulamaların olduğu alanlar, rüzgar türbinleri, elektrikli ve hibrit otomobiller, transformatörler, jeneratörler, tekneler, tarayıcılar, röleler, anahtarlar ve hoparlörlerdir (Atwood, 2012). NdFeB kalıcı mıknatıslar, küçük elektroniklerde miligram miktarlarında, elektrikli araçlarda kilogram miktarlarında ve rüzgar türbini jeneratörlerinde 1-2 ton'a kadar kullanılmaktadır. Buna göre, NdFeB mıknatısların yaşam döngüsü tüketici elektroniğinde 2-3 yıl, rüzgar türbinlerinde 20-30 yıl arasında değişmektedir (Yang vd., 2017; Nlebedim ve King, 2017).

Rüzgar enerjisi, iklim değişikliğinin azaltılması için en uygun maliyetli teknolojilerden birisidir ve AB sanayinde büyüyen bir sektördür. Rüzgar türbinlerinin önemli bir bileşeni, mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren jeneratördür. Rüzgarın dalgalı yapısı göz önüne alındığında, türbin kanatlarındaki mekanik stresi azaltmak için jeneratörleri değişken hızda çalıştırmak avantajlıdır. Son yıllarda yüksek güç yoğunluğu ve düşük kütlesi nedeni ile rüzgar türbinleri uygulamalarında kalıcı mıknatıs jeneratörleri kullanılmaya başlanmıştır. NTE'ler (neodimyum, praseodim ve disprosyum) NdFeB mıknatısların temel bileşenleridir. Bu mıknatıs, büyük rüzgar türbini konfigürasyonlarında kullanılan kalıcı mıknatıs senkron jeneratörlerini (Permanent Magnet Synchronous Generator-PMSG) üretmek için kullanılır (Bobba vd., 2020). Tipik olarak, bir rüzgar türbininin 1 MW elektrik enerjisi üretmesi için 250-650 kg NdFeB mıknatısa ihtiyacı vardır (Pavel vd., 2017a; Yang vd., 2017). 2007 yılında, üretilen NTE'lerin yaklaşık %16'sı rüzgar türbini mıknatısı üretimi için kullanılmıştır (Du ve Graedel, 2011). 2010 yılında, rüzgar türbinlerinin mıknatısları için dünya çapında yaklaşık 1300 ton NTE tüketilmiştir (Gutiérrez-Gutiérrez vd., 2015). Yeşil enerji teknolojisini yaygınlaştırmak için kurulu küresel rüzgar kapasitesinin 2040'a kadar 578 GW'a çıkması tahmin edilmektedir (Hoenderdaal et al., 2013).

Bugün AB'de yaklaşık 8 milyar elektrik motoru kullanılmakta ve AB'nin ürettiği elektriğin yaklaşık % 50'sini tüketmektedir. Bu motorlar, küçük boyutlu elektronik ürünlerden elektrikli bisikletlere (e-bisiklet), elektrikli araçlarda aktarma organlarında bulunan büyük motorlara kadar geniş kullanım alanına sahiptir. Çoğu hibrit ve elektrikli araçlarda NdFeB mıknatıslı senkron motorlar kullanılmaktadır (Bobba vd., 2020). NdFeB mıknatıs ailesinin temel bileşenlerinden disporsiyum, yüksek sıcaklıklarda mıknatısın zorlayıcı kuvvetini iyileştirmek için bir katkı maddesi olarak kullanılır. Kalıcı mıknatısların sahip olduğu kompakt boyut ve yüksek performans, onu hibrit otomobiller için cazip bir teknoloji haline getirmektedir (Pavel vd., 2017b; JRC, 2017). 2025 yılına kadar hibrit ve EV'lerin %90-100'nün NdFeB mıknatıslı senkron motorlara dayalı olması beklenmektedir (Leader ve Gaustad, 2019). Kalıcı mıknatıslar üzerinde yapılan çalışmalar çoğunlukla, mıknatıs üretiminde malzeme verimliliğini artırarak ve motor tasarımını optimize ederek, daha az NdFeB mıknatıs kullanımıyla yüksek teknik performans sağlayarak NTE'lerin içeriğini azaltmaya yöneliktir (Bobba vd., 2020).

Ayrıca, NdFeB mıknatısların önemli bir kısmı da NTE'lerden oluşan kalıcı mıknatıslar için önemli bir ikincil kaynak olarak tanımlanan sabit disk sürücülerinde (HDDs) kullanılmaktadır (München ve Veit, 2017). HDD'ler 1-30g NdFeB mıknatıstan oluşmaktadır. Atık NdFeB mıknatıslar, yaklaşık %31 NTE ve %4-7 disporsiyum içermektedirler (Schulze ve Buchert 2016). Birincil cevherlerden çok daha yüksek NTE içeriğine sahip atık mıknatıslar, Nd, Pr, Dy gibi metallerin geri kazanımı için büyük bir potansiyele sahiptir. Bu atıkların işlenmesi, birincil cevherlerle karşılaştırıldığında daha az kirletici ve enerji tasarrufu açısından daha verimli bir yöntemdir (Simoni vd., 2015). Yapılan bir tahmine göre, NdFeB mıknatısın geri dönüşüm yoluyla üretilmesi, birincil üretim yoluna kıyasla %88 daha az enerji gerektirmekte ve %98 daha az toksisite üretmektedir (Sprecher vd., 2014).

Hidrometalurjik yöntemler, istenen saflıkta metalleri geri kazanmak için en etkili yöntemlerden biridir. Atık mıknatısın H_2SO_4 (Lyman ve Palmer, 1993), HCl (Lai vd., 2014; Tian vd., 2019), HNO_3 (Rabatho vd., 2013), NaOH (Lee vd., 2013) ve organik asit (Behera ve Parhi, 2016) ile doğrudan liçi üzerine çalışmalar mevcuttur. Bu proseslerde, liç çözeltisindeki NTE ve demirin aynı anda kazanımı için atık NdFeB mıknatısını tamamen çözmek amacıyla konsantre asit/alkali kullanılmaktadır. Demir, alkali ilavesi ile pH 3'te çöktürülerek demir hidroksit olarak liç çözeltisinden uzaklaştırılmaktadır. Demir uzaklaştırma esnasında, demirin çöktürülmesi ile adsorbsiyon yoluyla %20-30 civarında NTE de kaybolmaktadır (Rabatho vd., 2013).

NTE ve demirin etkili bir şekilde ayrılması için seçimli liç işlemleri de önerilmektedir. Seçimli liç işleminde NdFeB mıknatısa liç öncesi kavurma işlemi uygulanır. Hidrometalurjik yöntemler öncesinde kullanılan başlıca kavurma yöntemleri, oksitleyici kavurma, sülfatlayıcı kavurma ve alkali kavurmadır (Kumari vd., 2021). Kullanılmış NdFeB mıknatıslardan kritik metallerin liç, ayırma ve saflaştırma yöntemleriyle kazanımı üzerine yapılmış olan güncel çalışmalar Tablo 3'te kısaca özetlenmiştir.

Tablo 3. Kullanılmış NdFeB mıknatısların liçi/seçimli liçi ile ilgili güncel çalışmaların özeti

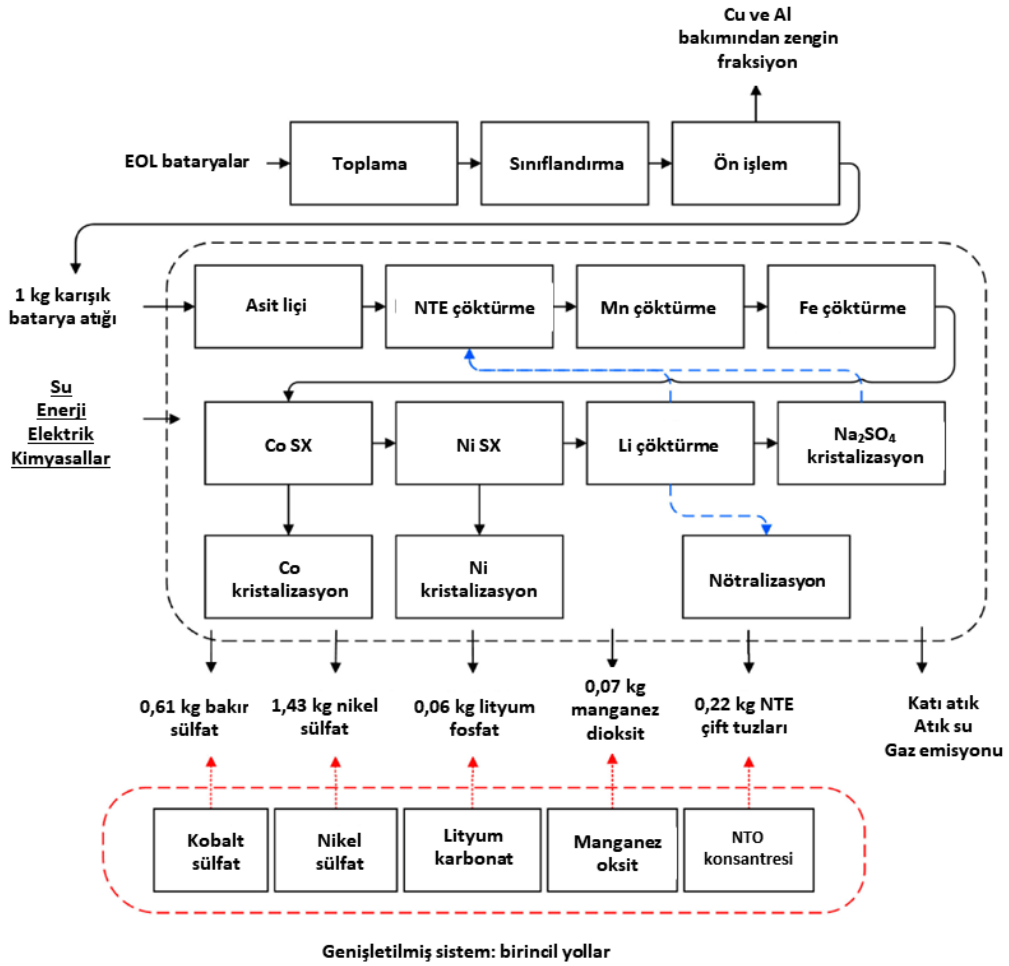
Atık Kaynağı	**Yöntem**	**Koşullar**	**Verim (%)**	**Kaynaklar**
NdFeB mıknatıslar (Sabit disk sürücüleri)	1-Demagnetizasyon 2-Öğütme 3- H_2SO_4 asit liçi 4-NaOH ile çöktürme 5-Solvent ekstraksiyonu	1- 350 °C, 30 dk 2- 500 µm tane boyutu 3-2 M H_2SO_4 20 g/L k/s oranı 27°C sıcaklık, 15 dk liç süresi 4-1M NaOH pH 4,5'da 5-0,2 D2EHPA, 25°C	72,3 Nd 66,3 Dy	Erust vd., 2021
NdFeB mıknatıslar	1-Oksidatif kavurma 2-Öğütme 3-Glikolik asit liçi 4-Solvent ekstraksiyon	1- 400 °C,1,5 saat 2- < 355 µm tane boyutu 3-1 M Glikolik asit, 70°C sıcaklık, 1/80 k/s oranı 4-1 M D2EHPA, 1:1 organik/sıvı faz, 25°C	95 NTE	Gergoric vd., 2019
NdFeB mıknatıslar (Rüzgar türbinleri)	1-Demagnetizasyon 2-NH_4Cl ile kavurma 3-Su liçi	1-310 °C, 1 saat 2-300°C kavurma sıcaklığı, 180 dk kavurma süresi 3- 95°C liç sıcaklığı, 100 g/L katı yoğunluğu, 500 dev/dk karıştırma hızı, 60 dk liç süresi	99,2 NTE	Kumari vd., 2021
NdFeB mıknatıslar (Rüzgar türbinleri)	1-Demagnetizasyon 2-Öğütme 3-HCl liçi 4-Okzalat ile çöktürme 5-Kavurma	1-583 K, 1 saat 2-< 149 µm tane boyutu 3-0,5 M HCl, 368 K liç sıcaklığı, 100 g/L k/s oranı, 500 dev/dk karıştırma hızı, 300 dk liç süresi 4-1 M okzalik asit, pH 2'de	99 NTE	Kumari vd., 2018

		5-1073 K kavurma sıcaklığı, 120 dk kavurma süresi		
NdFeB mıknatıslar	1-Demagnetizasyon 2-Oksidatif kavurma 3-HCl+$NaNO_3$ liçi 4-Okzalat ile çöktürme 5-Solvent ekstraksiyonu	1-350 °C, 1 saat 2-800°C kavurma sıcaklığı, 120 dk kavurma süresi 3-0,6 M HCl, 2 g/L $NaNO_3$, %10 katı yoğunluğu, 180°C liç sıcaklığı, 120 dk liç süresi 4-n($H_2C_2O_4$)/n(NTE)=1, pH 2'de 5-% 30 EHD, % 70 sülfonlanmış kerosen	99 NTE 99,5 B	Liu vd., 2020a
NdFeB mıknatıslar	1-Alkali kavurma 2-Versatik asit liçi 3-Okzalat ile çöktürme	1-200°C kavurma sıcaklığı, 180 dk kavurma süresi 2- %20 versatik asit, 60°C sıcaklık, 60 dk liç süresi 3-1 M okzalik asit, pH ≤1	98 NTE	Onal vd., 2020
NdFeB mıknatıslar	1-Öğütme 2-HCl liçi 3-$Ca(OH)_2$ ile çöktürme 4-Solvent ekstraksiyon	1-106–150 µm tane boyutu 2-0,2 M HCl, 90°C liç sıcaklığı, %1 katı yoğunluğu , 800 dev/dk karıştırma hızı, 240 dk liç süresi 3-pH 4'de 4- 0,8 M NaD2EHPA 1:2 organik/sıvı faz	99,9 Nd ve Pr	Parhi vd., 2016
NdFeB mıknatıslar (Sabit disk sürücüleri)	1-Demagnetizasyon 2-Oksidatif kavurma 3-Sitrik asit liçi	1- 350 °C, 30 dk 2- 900°C kavurma sıcaklığı, 480dk kavurma süresi 3-1 M sitrik asit 50 g/L katı yoğunluğu, 90°C sıcaklık	98 Nd	Reisdörfer vd., 2019

3.3. Li-iyon bataryalar

21. yüzyıl, taşınabilir cihazlar (cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar, kameralar, vb.) ve büyük ölçekli enerji depolama sistemleri (elektrikli araçlar ve yenilenebilir enerji kaynakları) için Li-iyon bataryalar (LIB'ler) muazzam ilerlemelere tanık olmaktadır (Lv vd., 2018). Cep telefonlarından elektrikli araçlara (EVs) kadar çeşitli cihazlar için güç kaynağı olarak LIB'lerin kullanımı endişe verici bir oranda artmakta ve bu da ömürlerinin sonunda büyük miktarda atığa yol açmaktadır. LIB'ler dünyamızı elektriklendirmeye devam ederken, 2030'a kadar 11 milyon tonun üzerinde kullanılmış LIB'in atığa ayrılacağı ve şimdiye kadar bunların %5'inden azının geri dönüştürüldüğü tahmin edilmektedir (Jacoby, 2019).

Yüksek kritik hammadde fiyatları nedeni ile, küresel LIB geri dönüşüm pazarının değeri 2017'de yaklaşık 1,78 milyar dolar olarak belirlenmiş ve bu değerin 2030 yılına kadar 23,72 milyar dolara ulaşması beklenmektedir. Bu da kullanılmış LIB'lerden kritik metallerin kazanılmasının küresel ekonomiye oldukça önemli bir katkısı olduğunu göstermektedir (Natarajan ve Aravindan, 2018; Zhang vd., 2018a). Rinne ve arkadaşları (2021) simülasyon tabanlı YDA ile karışık LIB atıklarının hidrometalurjik yöntemler kullanılarak geri dönüşümünü değerlendirmişlerdir. Çalışmada, hidrometalurjik yöntemler kullanılarak bataryaların geri dönüşümü ile kimyasal tüketimi ve buna bağlı olarak çevresel etkileri önemli ölçüde azaltılmıştır. Ayrıca, içerdiği metallerin kazanım miktarları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Hidrometalurjik sürecin sınır ve şematiği (Çalışmada kullanılan teknik sınır, olası senaryolar mavi kesikli çizgi ve genişletilmiş sistem kırmızı kesikli çizgi ile vurgulanmıştır) (Rinne vd., 2019)

Dünya çapında, özellikle son beş yılda, kullanılmış LIB'lerden kritik metallerin hidrometalurji yöntemler kullanılarak kazanımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Tablo 4, kullanılmış LIB'lerden kritik metalleri kazanmak için inorganik asit liçi, ayırma ve saflaştırma yöntemlerini kullanarak gerçekleştirilen çalışmaları kısaca özetlemektedir.

Tablo 4. Kullanılmış LIB'lerin farklı inorganik asitler ile liçi ile ilgili son zamanlarda göze çarpan çalışmaların özeti

Atık kaynağı	**Yöntem**	**Koşullar**	**Verim (%)**	**Kaynaklar**
Elektrikli araçların LIB'leri	1-Ön işlemler 2-H_2SO_4+H_2O_2 liçi 3-Çöktürme	1-Deşarj, manuel ayırma, 24 saat boyunca 80°C'de vakumla kurutma, oda sıcaklığında 2-3 dk süreyle deiyonize suda ultrasonikasyon ile Al ayrımı, 50°C'de 24 saat kurutma, öğütme ve karıştırma 2-1,0 M H_2SO_4, %0,62 ağırlık/hacim (a/h) H_2O_2, 25,8 g/mL katı/sıvı (k/s) oranı, 51°C liç sıcaklığı, 60 dk liç süresi 3-Co, Mn ve Ni birlikte çöktürme: >pH 11'de $Ni_{0,15}Mn_{0,15}Co_{0,70}(OH)_2$ olarak Li çöktürme: Na_2CO_3 çözeltisi ile 95°C'de Li_2CO_3 olarak	~100 Li	Chan vd., 2021

LIB'lerin lityum nikel manganez kobalt oksit (NMC) katot malzemeleri	1-H_2SO_4+H_2O_2 liçi 2-Solvent ekstraksiyon 3-Çöktürme	1-2.0 M H_2SO_4, %10 hacim/hacim (h/h) H_2O_2, 30 ml/g sıvı/katı (s/k) oranı, 70°C liç sıcaklığı, 300 dev/dk karıştırma hızı, 90 dk liç süresi 2-Co-Ni=0,1M Na-Cyanex 272, pH 6, 1.5 organik/sıvı faz (O/A) oranı, 15 dk Co-Mn=0,1M Na-D2EHPA, pH 2,95, 1.0 O/A, 5 dk Ni-Li=DMG, pH 9, 2 DMG/Ni^{2+} molar oranı 3-Co, Mn ve Ni, NaOH ile sırasıyla pH 11, 13 ve 12'de, Li ise Na_2CO_3	>99,5 Co, Ni ve Li, >93,3 Mn	Chen ve Ho, 2018
LIB	1-Ön işlemler 2-H_3PO_4 liçi	1-10% Na_2SO_4 çözeltisinde 24 saat deşarj, deiyonize su ile yıkama, 12 saat 90°C'de kurutma, manuel ayırma ve 1x1 cm'e kesme, Al ayrımı için anot ve katot folyoları 90°C'de N-metil-2-pirolidon içine 2 saat bekletme 2-0,7 M H_3PO_4, %4 h/h H_2O_2, 20 ml g^{-1} s/k oranı, 40°C liç sıcaklığı, 60 min liç süresi	99 Co ve Li	Chen vd., 2017
LIB'lerin katot aktif malzemesi	1-Ön işlemler 2-H_2SO_4 ile karşı akımlı liç (CLP)	1-%5 sodyum klorür çözeltisinde desarj, manuel ayırma, 2x2 cm'e kesme 2-2,0 M H_2SO_4, 70 g/L k/s oranı, 40°C liç sıcaklığı, 30 dk liç süresi (1.aşama) 2,0 M H_2SO_4, 100 g/L k/s oranı, 85°C liç sıcaklığı, 7 g/L nişasta, 120 dk liç süresi (2.aşama)	98 Li, 95 Co, 95 Ni ve 92 Mn	Jian vd., 2020
Endüstriyel ölçekli operatörden ezilmiş ve elenmiş LIB	1-Ön işlemler 2-HCl liçi 3-Nötralizasyon 4-Çöktürme (1.alternatif) 5-Solvent extraksiyon (2.alternatif) 6-Çöktürme	1-<1mm tane boyutuna öğütme, eleme ve manyetik ayırma 2-4,0 M HCl, 1/10-1/20 g/L k/s oranı, 50-80°C liç sıcaklığı, 120 dk liç süresi 3-NaOH ile pH 5 ve 50°C sıcaklıkta Fe (% 99,6), Cu (% 81,3) ve Al (% 80,5) uzaklaştırma 4-Ni ve Co karbonat çöktürme: pH 8'de ve 50°C sıcaklıkta Ni (%97,1), Co (%97,2) ve Mn (%97,3) (1. alternatif) 5-Cyanex 272 ile pH 4'te 1 O:A oranında Co (%56,17) Mn (%80,3) Ni (%3,15) ve Li (%5,26) (2. alternatif) 6-Na_2CO_3 ile Li_2CO_3	95 Li_2CO_3	Porvali vd., 2019
Atık dizüstü bilgisayarlar, kişisel bilgisayarlar ve akıllı telefonların LIB'lerinden ayrılan $LiCoO_2$	1-Ön işlemler 2-H_2SO_4+H_2O_2 liçi 3-Çöktürme 4-Solvent ekstraksiyon 5-Çöktürme	1-24 saat tuzlu su çözeltisinde deşarj ve manuel ayırma 2-2,0 M H_2SO_4, %4 h/h H_2O_2, %5 k/s oranı, 90°C liç sıcaklığı, 3 s liç süresi 3-Mn: 1,2M $KMnO_4$ ile pH 2,5 ve 80°C sıcaklıkta -Ni: 2M $C_4H_8N_2O_2$ ile pH 5ve 80°C sıcaklıkta	>98 MnO_2, $C_8H_{14}N_4NiO_4$, $CoSO_4$ ve Li_2CO_3	Sattar vd., 2019

katot malzemeleri		4-Co: 0,64M Cyanex 272, pH 5,0 ve O:A 1:1 5-Li: 1,2:1,0 Li^+:Na_2CO_3, 90°C sıcaklıkta		

Chan ve arkadaşlarının (2021) gerçekleştirdiği bir çalışmada, elektrikli araçların atık LIB'lerinden Li, Co, Ni ve Mn kapalı döngü sistemi ile geri dönüşümü sağlanmıştır. Bu yolla üretilen yeni batarya, %100 Coulombic verimi, 3,94 V ortalama deşarj voltajı ve 150 mAh g^{-1} deşarj kapasitesi ile geleneksel LIB'lerin performansına benzer veya ondan daha iyi özellik göstermiştir. Kullanılmış LIB'lerden metallerin kazanımında çoğunlukla H_2SO_4 (Chan vd., 2021; Chen ve Ho, 2018; He vd., 2017; Meshram vd., 2015a; Zhang vd., 2015), HCl (Wang vd., 2014), HNO_3 (Muzayanha vd., 2019) ve H_3PO_4 (Chen vd., 2017) gibi inorganik asit liç reaktifi kullanılmaktadır. Literatürde çalışmalara bakıldığında, H_2SO_4 lityum kobalt oksit piller üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve diğer asitlerden daha ucuz olması nedeni ile daha çok tercih edilmektedir (Meshram vd., 2015b). Sonuçlara göre, inorganik asitlerin lityum ve kobaltın geri dönüşümü için etkili olduğu görülmektedir. Ancak liç artıklarının toprağa ve yer altı sularına nüfuz etmesi ve Cl_2, SO_3 ve NOx gibi toksik gazların yayılması nedeni ile çevresel etkisi fazladır (Golmohammadzadeh vd., 2018). Bu dezavantajların üstesinden gelmek için, organik asitlerin kullanılmış LIB'lerden kritik metallerin kazanımı üzerindeki etkisi geniş çapta araştırılmıştır ve son zamanlarda göze çarpan çalışmalar Tablo 5'te özetlenmiştir.

Tablo 5. Kullanılmış LIB'lerin katot materyallerinin farklı organik asitlerle liçi ile ilgili son zamanlarda göze çarpan çalışmaların özeti

Atık kaynağı	Yöntem	Koşullar	Verim (%)	Kaynaklar
Atık $LiNi_xCo_yMn_zO_2$ LNCM katot materyalleri)	*1-Ön işlemler* *2-Askorbik asit liçi*	*1-24 saat boyunca % 10 a/h tuzlu su çözeltisinde deşarj, manuel ayırma, 2 saat boyunca 700°C'de kalsinasyon ve -120 mesh tane boyutuna öğütme* *2-T*, 75°C; *t*, 90 dk; %6 *katı yoğunluğu*; 2,0M $C_6H_8O_6$; 500 dev/dk karıştırma hızı	96,3 Li, 95,6 Mn, 94,8 Co ve 95,6 Ni	Munir vd., 2020
Cep telefonlarının kullanılmış LIB'leri	*1-Ön işlemler* *2-Asetik asit liçi* *3-Çöktürme*	*1-Manuel ayırma ve öğütme* *2-T*, 70°C; *katı yoğunluğu*, 20 g/L; *t*, 40 dk; 3,0 M $C_6H_8O_6$; %7,5 H_2O_2 3-Co ve Mn, 2 mL/dk akış hızı, %5 $(NH_4)_2S$ ile pH 9'da; Li, Na_2CO_3 ile	99,9 Li, 99,5 Mn ve 98,7 Co	Natarajan vd., 2018
Atık LIB'ler	*1-Ön işlemler* *2-Asetik asit liçi* *3-Al uzaklaştırma* *4-Çöktürme*	*1-Deşarj, manuel ayırma, 10mm × 10mm boyuta küçültme, 60°C'de 24 saat kurutma* *2*-40 g/L *katı yoğunluğu*,; *T*, 60°C; *t*, 60 dk; 3,5 M $C_6H_8O_6$; %4 H_2O_2 3-NaOH ile pH 6,45'te 4-Co, Mn ve Ni birlikte çöktürme: NaOH ve NH_4OH ile 2mL /dk pompalama hızıyla 65 ° C'de pH 11'de	99,97 Li, 96,3 Mn, 93,97 Co ve 92,6 Ni	Gao vd., 2018

		Li çöktürme: Na_2CO_3 ile		
Atık LIB'ler	*1-Ön işlemler* *2-Sitrik ve fosforik asit liçi*	*1-Deşarj, manuel sökme, Al folyoları soyma, kalsinasyon ve öğütme işlemleri ile katodik hurda tozları eldesi* *2-Liç:* 20 g/L *katı yoğunluğu*; *T*, 90°C; *t*, 30 dk; 0,4 M $C_6H_8O_7$; 0,2 M H_3PO_4	100 Li, 92 Mn, 93 Ni ve 91,6 Co	Zhuang vd., 2019
Dizüstü bilgisayarların atık LIB'leri	1-*Ön işlemler* *2-Malik asit liçi*	1-%1 a/h NaCl çözeltisinde 48 saat deşarj, manuel ayırma, katot materyalin Al folyolardan ayrımı için NaOH çözeltisinde bekletme, <106 µm tane boyutuna öğütme 2-10 g/L *katı yoğunluğu*; *T*, 95°C; *t*, 30 dk; 1,0 M $C_4H_6O_5$	96 Li, 98 Co ve 99 Ni	Musariri vd., 2019
Atık LIB'ler	*1-Ön işlemler* *2-Malik asit ile ultrasonik liç*	*1-%5 Na_2SO_4 çözeltisinde 24 saat deşarj, katot materyalin manuel ayrılması ve Al folyolardan ayrımı için 3 M NaOHçözeltisinde bekletme, kurutma, kalsinasyon, −0.075 mm tane boyutuna öğütme* *2*-5 g/L *katı yoğunluğu*; *T*, 80°C; *t*, 30 dk; 1,0 M $C_4H_6O_5$	98 Li, 97,3 Mn, 97,6 Co ve 97,8 Ni	Ning vd., 2020
LNCM katot materyali	*1-Ön işlemler* *2-Okzalik asit liçi* *3-Çöktürme*	*1-Deşarj, manuel ayırma, dimetil karbonat (DMC) ve N-metil-2-pirolidon (NMP) ile* Fe, Cu ve Al uzaklaştırma, kalsinasyon ve öğütme *2*-20 g/L *katı yoğunluğu*; *T*, 75°C; *t*, 120 dk; 0,6 M $H_2C_2O_4$ 3-Co, Mn ve Ni birlikte çöktürme: NaOH ile pH 11'de Li çöktürme: Na_2CO_3 ile	84 Li, 98,5 Mn, 98,5 Ni ve 98,5 Co	Zhang vd., 2018b
$LiCoO_2$ katot materyali	*1-Ön işlemler* *2-Sitrik asit liçi*	*1-Deşarj, manuel ayırma, katot materyalin dimetilasetamid ile şoklanması ile Al uzaklaştırma, 60°C'de 24 saat kurutma, karbon ve PVDF'yi uzaklaştırmak için 600°C'de 2 saat kalsinasyon* 2-15 g/L *katı yoğunluğu*; *T*, 90°C; *t*, 5 saat; 4:1 $LiCoO_2$ ve sitrik asit mol oranı; %1 h/h H_2O_2	99,07 Co	Zheng vd., 2016
Pil geri dönüşüm merkezinden	1-Ön işlemler 2-Fumarik asit liçi 3-Çöktürme	1-% 10 a/h NaCl elektrolit solüsyonunda 24 saat deşarj, 24 saat kurutma, manuel ayırma, 60 cm^3 dk^{-1} akış hızına	>97 Ni, Co, Mn ve 99,6 Li	Fu vd., 2020

toplanan atık LIB'ler		sahip yüksek saflıkta nitrojen atmosferi altında mikrodalga kül fırınında kavurma 2-0,75 M Fumarik asit, 15 g/L katı yoğunluğu, 50°C liç sıcaklığı, 20 dk liç süresi 3-Okzalik asit ile Co, Na_2CO_3 ve NaOH ile Ni ve Mn sırası ile pH 7,5 ve 9'da		

Gerçekleştirilen çalışmalarda organik ve inorganik asit liç verimini ve reaksiyon kinetiğini iyileştirmek için indirgeyici reaktiflerin kullanımı da önerilmiştir (He vd, 2018; Zheng vd, 2018). Hidrojen peroksit şu anda en yaygın kullanılan oksidanttır, ancak kullanımı zayıf stabilite, yüksek maliyet ve sorunlu uzun vadeli depolama ile sınırlıdır. Bunun dışında birçok çalışmada, sodyum sülfat, sodyum hidrojen sülfat ve demir (Fe) tozu dahil olmak üzere farklı alternatifler önerilmiştir (Natarajan vd., 2018; Vieceli vd., 2018).

Asit liç sistemine ek olarak, amonyak gibi bir alkali sistem de araştırılmıştır. Zheng ve arkadaşları (2017), liç yöntemi sırasında metal seçiciliği olan bir liç sistemi olarak amonyak-amonyum sülfat sistemi geliştirmişlerdir. Ku ve arkadaşları (2016) da elektrikli araçların LIB için amonyak, amonyum sülfat ve amonyum karbonat içeren benzer bir liç yöntemi kullanmıştır. Ni, Mn, Co, Al ve Cu için sırası ile % 25, 1, 80, 2, ve 100 liç verimi elde etmişlerdir. Bu sayede katot aktif malzemelerde yalnızca $LiMn_2O_4$, $LiCo_xMn_yNi_zO_2$, Al_2O_3 ve karbonun bir bileşimini elde etmişlerdir.

Liç çözeltisindeki metal bileşimi, ön işlem stratejisine ve LIB'lerin maruz kaldığı liç koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Yüklü çözeltide, katot aktif malzemelerinden (Co, Li, Mn ve Ni) gelen metallerin yanı sıra, sırasıyla katot ve anot folyolarından ve ayrıca mekanik olarak işlenen hurdalardan veya nihai kontaminasyondan gelen Al ve Cu varlığı da gözlenebilir. Bu nedenle, mineral işlemede normal olarak kullanılan çeşitli ayırma ve saflaştırma yöntemleri, bu tür safsızlıkları gidermek ve saf metal elde etmek için uygulanabilir. Co ve Li içeren saflaştırılmış bir çözelti elde edildikten sonra, çöktürme, bunları verimli bir şekilde ayırmak için kullanılabilir (Chan vd., 2021; Fu vd., 2020). Örneğin Chan vd.(2018), sülfürik-hidrojen peroksit liç çözeltisine NaOH ekleyerek Co, Ni ve Mn'ı $Ni_{0,15}Mn_{0,15}Co_{0,70}(OH)_2$ şeklinde birlikte çöktürmüş ve süzüldükten sonra kalan süzüntüye Na_2CO_3 ekleyerek saf Li_2CO_3 çökeltilerini elde etmiştir. Saflaştırılmış sülfürik asit liç solüsyonu Li'nin yanı sıra Co ve Ni içeriyorsa, Cyanex 272 ile solvent ekstraksiyonu bunları seçici olarak ayırmak için etkili bir yöntemdir (Chen ve Ho, 2018). D2EHPA (Pagnanelli vd., 2016) ve P507 (2-etilheksil fosfonik asit mono-2-etilheksilester, Chen vd., 2011) gibi diğer solvent ekstrantlar da benzer çözeltilerden metallerin saflaştırılması için başarılı bir şekilde uygulanmıştır.

3.4. LEDler

Işık Yayan Diyot (LED) atığı, küçük miktarlarda bazı değerli ve tehlikeli metaller içeren, geleneksel aydınlatma kaynaklarının yerini alan bir AEEE türüdür. Bu teknolojinin artan kullanımıyla birlikte, kullanım ömrü dolan LED ürünlerinin miktarı, çevresel etkisi ve galyum ve NTE'ler gibi önemli metalleri geri kazanma olasılıkları nedeni ile hidrometalurjik yöntemlerle değerlendirilebilir (Fang vd., 2018). Ancak son yıllarda önemi artan bir konu olmasına rağmen, LED'lerden kritik metallerin kazanımı konusunda çok az çalışma yayınlanmıştır. Bunların çoğu, esas olarak, refrakter nitrürü çözdürülebilir bir okside dönüştürmek için Galyum Nitrat (GaN) içeren tortunun öğütme ve kavurma yöntemleri ile ön işlemden geçirilmesiyle gerçekleştirilen Ga geri kazanımı ile ilgilidir (Nagy vd., 2017). Maarefvand ve arkadaşları (2020), atık LED'lerde GaN'nin Ga_2O_3'e oksidasyonu için 1100°C'de kalsinasyon işlemi uygulamıştır. 4 M hidroklorik asit, 93°C liç sıcaklığı ve 120 dakika optimum liç koşullarında galyum kazanımı %91,4 olarak belirlenmiştir. Ruiz-Mercado ve arkadaşları (2017) ise, LCD atıkların LED'lerinden HCl liçi, HDEHP ile solvent ekstraksiyon ve çöktürme yöntemleri ile NTE'lerinden Ce, Eu ve Y kazanmışlardır. Avrupa Komisyonu'ndan kritik hammaddeler listesi göz önüne alındığında (Avrupa

Komisyonu, 2020a), galyum ve NTE'lerin LED'lerden kazanımıyla ilgili fırsatları ve zorlukları ortaya koymak adına çalışmalar genişletilmektedir.

4. Stratejiler ve gelecek önerileri

Küresel olarak gerçekleştirilen tüm bu çalışmalar, ikincil kaynak bileşenlerinin minimum çevresel etkiyle yenilenmesini sağlayan süreçleri geliştirerek döngüsel ekonomi yaklaşımını teşvik etmenin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Döngüsel ekonomi stratejileri yerel ikincil arz sağlayarak madencilik kaynaklarının ilk etapta tükenmesini önlemektedir. Teknolojik yol haritalarında da hedeflendiği gibi stratejik öneme sahip teknoloji pazarının gelişmesine imkan sağlamak için özellikle kritik metallerin tedariki güvence altına alınmalıdır.

Gelecekte ikincil kaynakların çevresel etkisini ve sürdürülebilirliğini öngörmek çok önemlidir. Çevresel etkileri azaltmak ve hammadde tedarikini sürdürmek için atıkların geri dönüştürülmesi oldukça önemlidir. Hidrometalurji, ikincil kaynaklardan kritik metallerin kazanımı için halihazırda tam ölçekte kullanılmaktadır; ancak, teknolojiyi optimize etmek, kimyasal tüketimini ve atık su üretimini azaltmak ve nihai ürünlerin eldesinde gereken adım sayısını azaltmak için kinetik ve mekanik araştırmalar genişletilmelidir. Bu bağlamda, yazılım simülasyonları ve istatistiksel araçlar, değişkenlerin en iyi kombinasyonunu değerlendirmeye yardımcı olabilirler. Dahası, ikincil kaynakların geri dönüşüm süreçlerinin ayak izlerini azaltmak için de biraz çaba sarf edilmelidir. Kritik metallerin kazanımı için umut verici yöntemler olarak kabul edilen yeşil reaktiflerin kullanımı ve kapalı döngü sistemlerinin tercih edilmesi gibi eko-tasarım stratejileri önemli bir geliştirme alanıdır.

Geri dönüşüm sektörünün uzun vadede meydana gelecek olan büyük malzeme hacimlerini işlemeye hazırlıklı olması gerekmektedir. Özellikle düşük karbonlu teknolojilerde kullanılan enerji depolama aygıtlarının yeniden kullanma potansiyelleri, atık oluşumundan kaçınarak araştırılmalıdır. Toksik maddelerin kullanımının azaltılması ve otomatik sökmeye izin vermek için atık standardizasyonuna sahip ürün tasarımları da stratejik gelişmeler kapsamında değerlendirilebilir. Hidrometalurjik süreç uygulamalarını sürdürmek ve teşvik etmek için, atık yönetim sistemine dahil olan paydaşlar arasında işbirliği ve koordinasyonun, özellikle yasadışı olarak ihraç edilen ve gayri resmi tarafından yönetilen atık miktarını sınırlamak için düzenlemelerin ve politikaların rolü de önemlidir. Kısa vadede ise, arz risklerinin jeopolitik çatışmalardan kaynaklanma olasılığı daha yüksektir. Tedarikçi ülkelerin elinin güçlenmesinden doğacak bu riskleri en aza indirmek için, stoklama, alternatif kaynaklar bulma ve ticari anlaşmalar gibi stratejik hamleler birer çözüm yolu olabilir.

Kaynaklar

Akahori, T., Hiroshige, Y., Motoshita, M., Hatayama, H., Tahara, K., 2014. Assessment of Environmental Impact of Rare Earth Metals Recycling from Used Magnets. Rare Metals, 107-111. https://doi.org/10.1002/9781118888551.ch21.

Akcil, A., Sun, Z., Panda, S., 2020. COVID-19 disruptions to tech-metals supply are a wake-up call. Nature 587, 365-367. https://doi.org/10.1038/d41586-020-03190-8.

Ardente, F., Latunussa, C.E.L., Blengini, G.A., 2019. Resource efficient recovery of critical and precious metals from waste silicon PV panel recycling. Waste Manag. 91, 156–167. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.04.059.

Atwood, D.A., 2012. The rare earth elements: fundamentals and applications. Wiley, New York. ISBN: 978-1-119-95097-4.

Avrupa Komisyonu, 2020a. Study on the EU's list of Critical Raw Materials. Erişim tarihi: 25.02.2020. https://ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/specific-interest/critical_en.

Avrupa Komisyonu, 2020b. Internal Market, Industry, Entrepreneurship and SMEs. Erişim tarihi: 19.04.2021. ec.europa.eu/growth/sectors/raw-materials/ specific-interest/critical_en.

Avustralya Ticaret ve Yatırım Komisyonu, 2020. Avustralya Kritik Mineralleri 2020. Erişim tarihi: 23.03.2021. file:///C:/Users/user/Downloads/Australian_Critical_Minerals_Prospectus.pdf.

Behera, S.S., Parhi, P.K., 2016. Leaching kinetics study of neodymium from the scrap magnet using acetic acid. Sep. Purif. Technol. 160, 59–66. https://doi.org/10.1016/ j.seppur.2016.01.014.

Birloaga, I., 2013. Recovery of base metals from waste cpu by hydrometallurgical processes. Metalurgia International 18(2), 69-72.

Birleşmiş Milletler, 2015. UN Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform Our World. Erişim tarihi: 03.03.2021. https://doi.org/10.1038/505587a.

Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J., Mathieux, F., Pavel, C., 2020. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU-A Foresight Study. doi: 10.2873/58081.

Bogacka, M., Pikoń, K., Landrat, M., 2017. Environmental impact of PV cell waste scenario. Waste Manag. 70, 198–203. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.007.

Brückner, L., Frank, J., Elwert, T., 2020. Industrial recycling of lithium-ion batteries—a critical review of metallurgical process routes. Metals 10 (8), 1107. https://doi.org/10.3390/met10081107.

Bukowsky, H., Uhlemann, E., Steinborn, D., 1991. The recovery of pure lithium chloride from "brines" containing higher contents of calcium chloride and magnesium chloride. Hydrometallurgy 27, 317-325. https://doi.org/10.1016/0304-386X(91)90056-R.

Environment Canada, 2010. Assessment of the Environmental Performance of Solar Photovoltaic Technologies. Erişim tarihi: 19.04.2021. http://pvinnovation.ca/wp-content/uploads/2014/03/Assessment-of-the-Environmental-Performance-of-Solar-Photovoltaic-Technologies-Environment-Canada-03.2014.pdf.

Chabhadiya, K., Srivastava, R.R., Pathak, P., 2021. Two-step leaching process and kinetics for an eco-friendly recycling of critical metals from spent Li-ion batteries. Journal of Environmental Chemical Engineering 9(3), 105232. https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105232.

Chan, K.H., Anawati, J., Malik, M., Azimi, G., 2021. Closed-Loop Recycling of Lithium, Cobalt, Nickel, and Manganese from Waste Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles. ACS Sustainable Chem. Eng. 9, 4398−4410. https://dx.doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c06869.

Chehade, Y., Siddique, A., Alayan, H., Sadasivam, N., Nusri, S., Ibrahim, T. 2012. Recovery of gold, silver, palladium, and copper from waste printed circuit boards. In Proceedings of the International Conference on Chemical, Civil and Environment Engineering (ICCEE), Dubai, United Arab Emirates, pp. 24–25.

Cheisson, T., Cole, B.E., Manor, B.C., Carroll, P.J., Schelter, E.J., 2019. Phosphoryl-ligand adducts of rare earth-TriNOx complexes: systematic studies and implications for separations chemistry. ACS Sustain. Chem. Eng. 7, 4993–5001. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b05638.

Chen, L., Tang, X., Zhang, Y., Li, L., Zeng, Z., Zhang, Y., 2011. Process for the recovery of cobalt oxalate from spent lithium-ion batteries. Hydrometallurgy 108 (1–2), 80–86. doi:10.1016/j.hydromet.2011.02.010.

Chen, W-S, Ho, H-J., 2018. Recovery of Valuable Metals from Lithium-Ion Batteries NMC Cathode Waste Materials by Hydrometallurgical Methods. Metals 8, 321; doi:10.3390/met8050321.

Chen, X., Ma, H., Luo, C., Zhou, T., 2017. Recovery of valuable metals from waste cathode materials of spent lithium-ion batteries using mild phosphoric acid. J. Hazard Mater. 326, 77–86. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.12.021.

Chowdhury, M.S., Rahman, K.S., Chowdhury, T., Nuthammachot, N., Techato, K., Akhtaruzzaman, M., Tiong, S.K., Sopian, K., Amin, N., 2020. An overview of solar photovoltaic panels' end-of-life material recycling. Energy Strategy Reviews 27, 100431. https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100431.

Chung, J., Seo, B., Lee, J., Kim, J. Y., 2021. Comparative analysis of I2-KI and HNO3 leaching in a life cycle perspective: Towards sustainable recycling of end-of-life c-Si PV panel. Journal of Hazardous Materials 404, 123989. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123989.

Corcelli, F., Ripa, M., Leccisi, E., Cigolotti, V., Fiandra, V., Graditi, G., Sannino, L., Tammaro, M., Ulgiati, S., 2018. Sustainable urban electricity supply chain – Indicators of material recovery and energy savings from crystalline silicon photovoltaic panels end-of-life. Ecol. Indic. 94, 37–51. https://doi.org/10.1016/j. ecolind.2016.03.028.

Cui, J., Zhang, L., 2008. Metallurgical recovery of metals from electronic waste: A review. Journal of Hazardous Materials 158(2-3), 228-256. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.001.

Dabrowski, A., 2001. Adsorption—from theory to practice. Adv. Colloid Interface Sci. 93 (1-3), 135-224. https://doi.org/10.1016/S0001-8686(00)00082-8.

Ding, Y., Zhang, S., Liu, B., Zheng, H., Chang, C.C., Ekberg, C., 2019. Recovery of precious metals from electronic waste and spent catalysts: A review. Resour., Conserv. Recycl. 141, 284-298. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.10.041.

Dominguez, A., Geyer, R., 2017. Photovoltaic waste assessment of Mexico. Resour. Conserv. Recycl. 127, 29–41. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.013.

Domínguez, A., Geyer, R., 2018. Photovoltaic waste assessment of major photovoltaic installations in the United States of America. Renew. Energy 133, 1188e1200. https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.08.063.

Dominguez, A., Geyer, R., 2019. Photovoltaic waste assessment of major PV installations in the United States of America. Renew. Energy 133, 1188–200. https://doi.org/ 10.1016/j.renene.2018.08.063.

Du, X., Graedel, T.E., 2011. Global rare earth in-use stocks in NdFeB permanent magnets. J. Ind. Ecol. 15, 836–843. https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00362.x.

Erust, C., Akcil, A., Tuncuk, A., Deveci, H., 2021. A Multi-stage Process for Recovery of Neodymium (Nd) and Dysprosium (Dy) from Spent Hard Disc Drives (HDDs). Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review 42(2), 90-1012. https://doi.org/10.1080/08827508.2019.1692010.

Faircloth, C.C., Wagner, K.H., Woodward, K.E., Rakkwamsuk, P., Gheewala, S.H., 2019. The environmental and economic impacts of photovoltaic waste management in Thailand. Resour. Conserv. Recycl. 143, 260–72. https://doi.org/10.1016/j. resconrec.2019.01.008.

Fang, S., Yan, W., Cao, H., Song, Q., Zhang, Y., Sun, Z., 2018. Evaluation on end-of-life LEDs by understanding the criticality and recyclability for metals recycling. J Clean Prod. 182, 624-633. 10.1016/j.jclepro.2018.01.260.

Fraunhofer Institute, 2019. Photovoltaics Report. Erişim tarihi: 19.04.2021. https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/Photovoltaics-Report.pdf.

Fu, Y., He, Y., Li, J., Qu, L., Yang, Y., Guo, X., Xie, W., 2020. Improved hydrometallurgical extraction of valuable metals from spent lithium-ion batteries via a closed-loop process. Journal of Alloys and Compounds 847, 156489. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2020.156489.

Furlani, E.P., 2001. Permanent magnet and electromechanical devices: materials, analysis, and application. Academic Press, New York eBook ISBN: 9780080513690.

Gao, W., Song, J., Cao, H., Lin, X. Zhang, X. Zheng, X., Zhang, Y., Sun, Z., 2018. Selective recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries – process development and kinetics evaluation. J. Clean. Prod. 178, 833-845. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.01.040.

Gergoric, M., Barrier, A., Retegan, T., 2019. Recovery of rare-earth elements from neodymium magnet waste using glycolic, maleic, and ascorbic acids followed by solvent extraction. J. Sustain. Met. 5 (1), 85–96. 96 https://doi.org/10.1007/s40831-018-0200-6

Golmohammadzadeh, R., Faraji, F., Rashchi, F., 2018. Recovery of lithium and cobalt from spent lithium ion batteries (LIBs) using organic acids as leaching reagents: a review. Resour. Conserv. Recycl., 136, 418-435. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.04.024.

Goonan, T.G., 2011. Rare Earth Elements—End Use and Recyclability—Scientific Investigations Report 5094, U.S Geological Survey, pp. 15.

Green Car Congress, 2021. Canada releases list of 31 critical minerals; domestic production, global impact. Erişim tarihi: 21.03.2021. https://www.greencarcongress.com/2021/03/20210315-canada31.html.

Grosse, A., 2002. Gold recovery from thiosulfate leach liquors using ion exchange resins. Aust. J. Chem., 55 (8), 547. https://doi.org/10.1071/CH02138.

Grosse, A.C., Dicinoski, G.W., Shaw, M.J., Haddad, P.R., 2003. Leaching and recovery of gold using ammoniacal thiosulfate leach liquors (a review). Hydrometallurgy 69(1), 1–21. https://doi.org/10.1016/S0304-386X(02)00169-X.

Guo, J., Liu, X., Yu, J., Xu, C., Wu, Y., Pan, D., Senthil, R.A., 2021. An overview of the comprehensive utilization of silicon-based solid waste related to PV industry. Resources, Conservation & Recycling 169, 105450. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105450.

Gutiérrez-Gutiérrez, S.C., Coulon, F., Jiang, Y., Wagland, S., 2015. Rare earth elements and critical metal content of extracted landfilled material and potential recovery opportunities. Waste Manage. (Oxford) 42, 128–136. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.04.024

Hache, E., Seck, G.S., Simoen, M., Bonnet, C., Carcanague, S., 2019. Critical raw materials and transportation sector electrification: A detailed bottom-up analysis in World transport. Appl. Energy 240, 6–25. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.057.

He, L.P., Sun, S.Y., Song, X.F., Yu, J.G., 2017. Leaching process for recovering valuable metals from the LiNi1/3Co1/3Mn1/3O2 cathode of lithium-ion batteries. Waste Manag. 64, 171–181. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.02.011

He, L., Sun, S., Yu, J., 2018. Performance of LiNi1/3Co1/3Mn1/3O2 prepared from spent lithium-ion batteries by a carbonate co-precipitation method. Ceramics International 44, 31–357. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2017.09.180.

Hoenderdaal, S., Tercero Espinoza, L., Marscheider-Weidemann, F., Graus, W., 2013. Can a dysprosium shortage threaten green energy technologies? Energy, 49 (1), 344-355. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.10.043.

Huddleston, J.G., Willauer, H.D., Swatloski, R.P., Visser, A.E., Rogers, R.D., 1998. Room temperature ionic liquids as novel media for 'clean' liquid-liquid extraction. Chemical Communications, 16, 1765–1766. https://doi.org/10.1039/A803999B.

IEA-PVPS, 2018. End-of-Life Management of Photovoltaic Panels: Trends in PV Module Recycling Technologies, IEA PVPS Task 12, International Energy Agency Power Systems Programme, Report IEA-PVPS T12. Erişim tarihi: 19.04.2021 https://iea-pvps.org/wp-content/uploads/2020/01/End_of_Life_Management_of_Photovoltaic_Panels_Trends_in_PV_Module_Recycling_Technologies_by_task_12.pdf.

IPCC, 2018. Global Warming of 1.5°C. Erişim tarihi: 03.03.2021. https://www.ipcc.ch/sr15/.

Jacoby, M., 2019. It's time to get serious about recycling lithium-ion batteries. C&EN, 97(28), 29–32. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cen-09728-cover.

Jha, M.K., Kumari, A., Panda, R., Kumar, Rajesh, J., Yoo, K., Lee, J.Y., 2016. Review on hydrometallurgical recovery of rare earth metals. Hydrometallurgy 165, 2–26. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2016.01.035.

Jian, Y., Yanqing, L., Fangyang, L., Ming, J., Liangxing, J., 2020. Countercurrent leaching of Ni, Co, Mn,

and Li from spent lithium-ion batteries. Waste Management & Research 38(12), 1358–1366. DOI: 10.1177/0734242X20944498.

JRC, Materials Impact on the EU's Competitiveness of the Renewable Energy, Storage and e-Mobility Sectors - Wind Power, Solar Photovoltaic and Battery Technologies, Joint Re¬search Centre (JRC, Authors: Claudiu Pavel, Darina Blagoeva. EUR 28774 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2017, ISBN 978-92-79-73491, 2017

Kim, D., Powell, L., Delmau, L.H., Peterson, E.S., Herchenroeder, J., Bhave, R.R., 2015. Selective extraction of rare earth elements from permanent magnet scraps with membrane solvent extraction. Environ Sci Technol. 49 (16), 9452. https://doi.org/10.1021/acs.est.5b01306

Kucuker, M.A., 2018. Biomining Concept for Recovery of Rare Earth Elements (REEs) from Secondary Sources. 978-3-9817572-8-6, Hamburger Berichte; Bd. 48; Verlag Abfall aktuell der Ingenieurgruppe RUK GmbH, Stuttgart.

Ku, H., Jung, Y., Jo, M., Park, S., Kim, S., Yang, D., Rhee, K., An, E. M., Sohn, J., Kwon, K., 2016. Recycling of spent lithium-ion battery cathode materials by ammoniacal leaching. J. Hazard. Mater. 313, 138−46. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2016.03.062.

Kumari, A., Raj, R., Randhawa, N.S., Sahu, S.K., 2021. Energy efficient process for recovery of rare earths from spent NdFeB magnet by chlorination roasting and water leaching. Hydrometallurgy 201, 105581. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2021.105581

Kumari, A., Sinha, M.K., Pramanik, S., Sahu, S.K., 2018. Recovery of rare earths from spent NdFeB magnets of wind turbine: Leaching and kinetic aspects. Waste Management, 75, 486-498. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.033.

Kwak, J.I., Nam, S.-H., Kim, L., An, Y.-J., 2020. Potential environmental risk of solar cells: current knowledge and future challenges. J. Hazard. Mater. 392, 122297 https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122297.

Lai, W., Liu, M., Li, C., Suo, H., Yue, M., 2014. Recovery of a composite powder from NdFeB slurry by co-precipitation. Hydrometallurgy 150, 27–33. https://doi.org/ 10.1016/j.hydromet.2014.08.014.

Leader, A., Gaustad, G., 2019. Critical Material Applications and Intensities in Clean Energy Technologies. Clean Technologies 2(1), 11–31. https://doi.org/10.3390/cleantechnol1010012.

Lee, C-H., Chen, Y-J, Liao, C-H., Popuri, S.R., Tsai, S-L., Hung, C-E., 2013. Selective leaching process for neodymium recovery from scrap Nd-Fe-B magnet. Metall. Mater. Trans. 44, 5825-5833. DOI: 10.1007/s11661-013-1924-3.

Li, H., Eksteen, J., Oraby, E., 2018. Hydrometallurgical recovery of metals from waste printed circuit boards (WPCBs): Current status and perspectives–A review. Resour., Conserv. Recycl. 139, 122-139. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.08.007.

Li, Z., He, L., Zhu, Y., Yang, C., 2020. A green and cost-effective method for production of LiOH from spent $LiFePO_4$. ACS Sustainable Chemistry and Engineering 8(42), 15915-15926. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c04960.

Liu, F., Porvali, A., Wang, J.L., Wang, H., Peng, C., Wilson, B.P., Lundstrom, M., 2020a. Recovery and separation of rare earths and boron from spent Nd-Fe-B magnets. Miner. Eng. 145, 106097. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106097.

Liu, K., Yang, S., Lai, F., Wang, H., Huang, Y., Zheng, F., Wang, S., Zhang, X., Li, Q., 2020b. Innovative Electrochemical Strategy to Recovery of Cathode and Efficient Lithium Leaching from Spent Lithium-Ion Batteries. ACS Applied Energy Materials 3(5), 4767-4776. https://doi.org/10.1021/acsaem.0c00395.

Liu, Z., Wu, J., Liu, X., Wang, W., Li, Z., Xu, R., Ding, Y., Wang, J., 2020c. Recovery of neodymium, dysprosium, and cobalt from NdFeB magnet leachate using an unsymmetrical dialkylphosphinic acid extractant, INET-3. J Rare Earths 38(10), 1114. https://doi.org/10.1016/j.jre.2020.01.018.

Lu, Y., Xu, Z.M., 2016. Precious metals recovery from waste printed circuit boards: A review for current status and perspective. Resources, Conservation and Recycling 113, 28–39. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.05.007.

Lv, W., Wang, Z., Cao, H., Sun, Y., Zhang, Y., Sun, Z., 2018. A Critical Review and Analysis on the Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries. ACS Sustainable Chem. Eng. 6, 1504-1521. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b03811.

Lyman, J.W., Palmer, G.R., 1993. Recycling of rare earths and iron from NdFeB magnet scrap. High Temp. Mater. Process. 11 (1–4), 175–188. https://doi.org/10.1515/ HTMP.1993.11.1-4.175.

Maani, T., Celik, I., Heben, M.J., Ellingson, R.J., Apul, D., 2020. Environmental impacts of recycling crystalline silicon (c-SI) and cadmium telluride (CDTE) solar panels. Sci. Total Environ. 735, 138827. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138827.

Maarefvand, M., Sheibani, S., Rashchi, F., 2020. Recovery of gallium from waste LEDs by oxidation and subsequent leaching. Hydrometallurgy 191, 105230. 10.1016/j.hydromet.2019.105230.

Mahmoudi, S., Huda, N., Alavi, Z., Islam, M.T., Behnia, M., 2019. End-of-life photovoltaic modules: a systematic quantitative literature review. Resour. Conserv. Recycl. 146, 1-16. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.03.018.

Mecucci, A., Scott, K., 2002. Leaching and electrochemical recovery of copper, lead and tin from scrap printed circuit boards. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, 77(4), 449–457. doi:10.1002/jctb.575.

Meng, F., McNeice, J., Zadeh, S.S., Ghahreman, A., 2019. Review of Lithium Production and Recovery from Minerals, Brines, and Lithium-Ion Batteries. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review

42(2), 123-141. https://doi.org/10.1080/08827508.2019.1668387.

Meshram, P. , Pandey, B.D., Mankhand, T.R., 2014. Extraction of lithium from primary and secondary sources by pre-treatment, leaching and separation: A comprehensive review. Hydrometallurgy 150, 192–208. doi:10.1016/j.hydromet.2014.10.012.

Meshram, P., Pandey, B.D., Mankhand, T.R., 2015a. Hydrometallurgical processing of spent lithium ion batteries (LIBs) in the presence of a reducing agent with emphasis on kinetics of leaching. Chem. Eng. J. 281, 418–427. https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.06.071.

Meshram, P., Pandey, B.D., Mankhand, T.R., 2015b. Recovery of valuable metals from cathodic active material of spent lithium ion batteries: Leaching and kinetic aspects. Waste Manag. 45, 306–313. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.05.027.

Munir, H., Srivastava, R.R., Kim, H., Ilyas, S., Khosa, M.K., Yameen, B., 2020. Leaching of exhausted LNCM cathode batteries in ascorbic acid lixiviant: a green recycling approach, reaction kinetics and process mechanism. J. Chem. Technol. Biotechnol. 95, 2286-2294. https://doi.org/10.1002/jctb.6418.

Musariri, B., Akdogan, G., Dorfling, C., Bradshaw, S., 2019. Evaluating organic acids as alternative leaching reagents for metal recovery from lithium ion batteries. Miner. Eng. 137, 108-117. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.03.027.

München, D.D., Veit, H.M., 2017. Neodymium as the main feature of permanent magnets from hard disk drives (HDDs). Waste Management 61, 372–76. doi:10.1016/j.wasman.2017.01.032.

Muzayanha, S.U., Yudha, C.S., Nur, A., Widiyandari, H., Haerudin, H., Nilasary, H., Fathoni, F., Purwanto, A., 2019. A fast metals recovery method for the synthesis of lithium nickel cobalt aluminum oxide material from cathode waste. Metals 9 (5), 615. https://doi.org/10.3390/met9050615.

Nagy, S., Bokányi, L., Gombköto, I., Magyar, T., 2017. Recycling of gallium from end-of-life light emitting diodes. Arch Metall Mater. 62, 1161-1166. 10.1515/amm-2017-0170.

Natarajan, S., Aravindan, V., 2018. Recycling Strategies for Spent Li-Ion Battery Mixed Cathodes. ACS Energy Lett., 3, 2101–2103. https://doi.org/10.1021/acsenergylett.8b01233.

Natarajan, S., Boricha, A.B., Bajaj, H.C., 2018. Recovery of value-added products from cathode and anode material of spent lithium-ion batteries. Waste Manag. 77, 455-465. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.032.

Ning, P., Meng, Q., Dong, P., Duan, J., Xu, M., Lin, Y., Zhang, Y., 2020. Recycling of cathode material from spent lithium ion batteries using an ultrasound-assisted DL-malic acid leaching system. Waste Manag. 103, 52-60. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.002.

Nlebedim, I.C., King, A.H., 2017. Addressing criticality in rare earth elements via permanent magnets recycling. J. Miner. Metal.Mater. Soc. 70, 1–9. https://doi.org/10.1007/s11837-017-2698-7.

Onal, M.A.R., Riano, S., Binnemans, K., 2020. Alkali baking and solvometallurgical leaching of NdFeB magnets. Hydrometallurgy 191, 105213. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.105213.

Pagnanelli, F., Moscardini, E., Altimari, P., Atia, T.A., Toro. L., 2016. Cobalt products from real waste fractions of end of life lithium ion batteries. Waste Management 51, 214–21. doi:10.1016/j.wasman.2015.11.003.

Paiano, A., 2015. Photovoltaic waste assessment in Italy. Renew. Sustain. Energy Rev. 41, 99–112. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.208.

Parhi, P.K., Sethy, T.R., Rout, P.C., Sarangi, K., 2016. Separation and recovery of neodymium and praseodymium from permanent magnet scrap through the hydrometallurgical route. Separation Science and Technology 51 (13), 2232–41. https://doi.org/10.1080/01496395.2016.1200087.

Patil, A.B., Tarik, M., Struis, R.P.W.J., Ludwig, C., 2021. Exploiting end-of-life lamps fluorescent powder e-waste as a secondary resource for critical rare earth metals. Resources, Conservation & Recycling 164, 105153. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105153.

Pavel, C.C., Lacal-Arántegui, R., Marmier, A., Schüler, D., Tzimas, E., Buchert, M., Blagoeva, D., 2017a. Substitution strategies for reducing the use of rare earths in wind turbines. Resour. Policy 52, 349–357. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.04.010.

Pavel, C.C., Thiel, C., Degreif, S., Blagoeva, D., Buchert, M., Schüler, D., Tzimas, E., 2017b. Role of Substitution in Mitigating the Supply Pressure of Rare Earths in Electric Road Transport Applications, Sustainable Materials and Technologies 12, 62–72. https://doi.org/10.1016/j.susmat.2017.01.003.

Plechkova, N.V., Seddon, K.R., 2008. Applications of ionic liquids in the chemical industry. Chemical Society Reviews 37(1), 123–150. https://doi.org/10.1039/B006677J.

Porvali, A., Aaltonen, M., Ojanen, S., Velazquez-Martinez, O.,Eronen, E., Liua, F., Wilson, B.P., Serna-Guerrero, R., Lundström, M., 2019. Mechanical and hydrometallurgical processes in HCl media for the recycling of valuable metals from Li-ion battery waste. Resources, Conservation and Recycling 142, 257-266. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.023.

Rabatho, J.P., Tongamp, W., Takasaki, Y., Haga, K., Shibayama, A., 2013. Recovery of Nd and Dy from rare earth magnetic waste sludge by hydrometallurgical process. J. Mater. Cycle Waste Manag. 15 (2), 171–178. https://doi.org/10.1007/s10163- 012-0105-6.

REC-Group, 2018. Recycling for the solar life cycle: why the recycling of a solar module is important and how it can be done. Erişim tarihi: 19.04.2021. https://www.recgroup.com/en/downloads/product-downloads-studies-whitepaper/recycling-solar-module.

Reisdorfer, G., Bertuol, D., Tanabe, E.H., 2019. Recovery of neodymium from the magnets of hard disk drives using organic acids. Miner. Eng. 143, 105938. https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.105938.

Rinne, M., Elomaa, H., Porvali, A., Lundström, M., 2021. Simulation-based life cycle assessment for hydrometallurgical recycling of mixed LIB and NiMH waste. Resources, Conservation & Recycling 170, 105586. https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105586.

Ruiz-Mercado, G.J., Gonzalez, M.A., Smith, R.L., Meyer, D.E., 2017. A conceptual chemical process for the recycling of Ce, Eu, and Y from LED flat panel displays. Resour Conserv Recycl. 126, 42-49. 10.1016/j.resconrec.2017.07.009.

Salim, H., Stewart, R., Sahin, O., Dudley, M., 2020. Systems approach to end-of-life management of residential photovoltaic panels and battery energy storage system in Australia. Renew. Sustain. Energy Rev. 134, 110176. https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110176.

Santos, S.C.R., Bacelo, H.A.M., Boaventura, R.A.R., Botelho, C.M.S., 2019. Tannin-Adsorbents for Water Decontamination and for the Recovery of Critical Metals: Current State and Future Perspectives. Biotechnology Journal 14(12), 1900060. https://doi.org/10.1002/biot.201900060.

Saratale, R.G., Kim, H.-Y., Park, Y., Shin, H.S., Ghodake, G., Bharagava, R.N., Mulla, S.I., Kim, D.-S., Saratale, G.D., 2020. Hydrometallurgical process for the recovery of yttrium from spent fluorescent lamp: Leaching and crystallization experiments. Journal of Cleaner Production 261, 121009. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121009.

Sattar, R., Ilyas, S., Bhatti, H.N., Ghaffar, A., 2019. Resource recovery of critically-rare metals by hydrometallurgical recycling of spent lithium ion batteries. Separation and Purification Technology 209, 725-733. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.09.019.

Savvilotidou, V., Gidarakos, E., 2020. Pre-concentration and recovery of silver and indium from crystalline silicon and copper indium selenide photovoltaic panels. J. Clean. Prod. 250 https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119440.

Sayman, R.Ü., Akpulat, O., 2016. Atık Elektrikli ve Elektronik Eşyaların Kontrolü Yönetmeliği Belediye Uygulama Rehberi. Bölgesel Çevre Merkezi (REC) Türkiye Yayını. Erişim tarihi: 12.03.2021. https://recturkey.files.wordpress.com/2016/11/aeee_rehberi.pdf.

Schaeffer, N., Passos, H., Billard, I., Papaiconomou, N., Coutinho, J.A.P., Recovery of metals from waste electrical and electronic equipment (WEEE) using unconventional solvents based on ionic liquids. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 48(13-15), 859-922. https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1477417.

Schulze, R., Abbasalizadeh, A., Bulach, W., Schebek, L., Buchert, M., 2018. An ex-ante LCA study of rare earth extraction from NdFeB magnet scrap using molten salt electrolysis. J. Sustain. Met. 4, 493-505. https://doi.org/10.1007/s40831-018-0198-9.

Schulze, R., Buchert, M., 2016. Estimates of global REE recycling potentials from NdFeB magnet material. Resources, Conservation and Recycling 113, 12–27. doi:10.1016/j.resconrec.2016.05.004.

Sethurajan, M., van Hullebusch, E.D., Fontana, D., Akcil, A., Deveci, H., Baticik, B., Leal, J.P., Gasche, T.A., Kucuker, M.A., Kuchta, K., Neto, I.F.F., Soares, H.M.V.M., Chmielarz, A., 2019. Recent advances on hydrometallurgical recovery of critical and precious elements from end of life electronic wastes - a review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 49(3), 212-275. https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1540760.

Shuva, M.A.H., Kurny, A.S.W, 2013. Hydrometallurgical recovery of value metals from spent lithium ion batteries. American Journal of Materials Engineering and Technology 1, 8–12. DOI: 10.12691/materials-1-1-2.

Simoni, M., Kuhn, E.P., Morf, L.S., Kuendig, R., Adam, F., 2015. Urban mining as a contribution to the resource strategy of the Canton of Zurich. Waste Manage. (Oxford) 45, 10–21. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.04.

Sprecher, B., Xiao, Y., Walton, A., Speight, J., Harris, R., Kleijn, R., Visser, G., Kramer, G. J., 2014. Life cycle inventory of the production of rare earths and the subsequent production of NdFeB rare earth permanent magnets. Environ. Sci. Technol. 48 (7), 3951–3958. https://doi.org/10.1021/es404596q.

Stinn, C., Allanore, A., 2021. Selective Sulfidation and Electrowinning of Nickel and Cobalt for Lithium Ion Battery Recycling. Minerals, Metals and Materials Series, 5th International Symposium on Nickel and Cobalt, Ni-Co 2021 held as part of TMS 2021, pp. 99-110.

Sun, D.T., Gasilova, N., Yang, S., Oveisi, E., Queen, W.L., 2018. Rapid, selective extraction of trace amounts of gold from complex water mixtures with a metal-organic framework (MOF)/polymer composite. J. Am. Chem. Soc 140, 16697–16703. https://doi.org/10.1021/jacs.8b09555.

Swain, B., Mishra, C., Hong, H.S., Cho, S.-S., 2016. Beneficiation and recovery of indium from liquid-crystal-display glass by hydrometallurgy. Waste Management 57, 207-214. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.02.019.

Tao, J., Yu, S.R., 2015. Review on feasible recycling pathways and technologies of solar photovoltaic modules. Sol. Energy Mater. Sol. Cells 141, 108-124. https://doi.org/10.1016/j.solmat.2015.05.005.

Tian, Y., Liu, Z., Zhang, G., 2019. Recovering REEs from NdFeB wastes with high purity and efficiency by leaching and selective precipitation process with modified agents. J. Rare Earths 37 (2), 205–210. https://doi.org/10.1016/j.jre.2018.10.002.

Ulusal Araştırma Konseyi, 2008. Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy, Minerals, Critical Minerals, and the U.S. Economy. The National Academies Press, Washington, DC. Erişim tarihi: 03.03.2021. https://doi.org/10.17226/12034.

UNFCCC, 2015. Adoption of the Paris Agreement. Paris, France. Erişim tarihi: 03.03.2021. https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf.

Venkatesan, P., Vander Hoogerstraete, T., Binnemans, K., Sun, Z., Sietsma, J., Yang, Y., 2018. Selective Extraction of Rare-Earth Elements from NdFeB Magnets by a Roomerature Electrolysis Pretreatment Step. ACS Sustain. Chem. Eng. 6, 9375–9382. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.8b01707.

Verma, A., Kore, R., Corbin, D.R., Shiflett, M.B., 2019. Metal recovery using oxalate chemistry: a technical review. Ind. Eng. Chem. Res. 58, 15381-15393. https://doi.org/10.1021/acs.iecr.9b02598.

Vieceli, N., Nogueira, C.A., Guimaraes, C., Pereira, M.F.C., Durão, F.O., Margarido, F., 2018. Hydrometallurgical recycling of lithium-ion batteries by reductive leaching with sodium metabisulphite. Waste Management 71, 350–361. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.09.032.

Wang, L.K., Hung, T-S., Shammas, N.K., 2005. Physicochemical treatment processes. L.K. Wang, H. yung-tse, NK. Shammas (Eds.), Vol. 3, Humana Press, Springer, Totowa, NJ (2005), pp. 1-196.

Wang, X., Gaustad, G., Babbitt, C.W., Bailey, C., Ganter, M.J., Landi, B.J., 2014. Economic and environmental characterization of an evolving Li-ion battery waste stream. J. Environ. Manag. 135, 126–134. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.021.

Weckend, S., Heath, G., 2016. End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels. International Renewable Energy Agency and International Energy Agency Photovoltaic Power Systems (IRENA and IEA-PVPS). Erişim tarihi: 19.04.2021. https://iea-pvps.org/key-topics/irena-iea-pvps-end-of-life-solar-pv-panels-2016/.

Xiu, F.R., Weng, H., Qi, Y., Yu, G., Zhang, Z., Zhang, F.S., Chen, M.A., 2017. A novel recovery method of copper from waste printed circuit boards by supercritical methanol process: Preparation of ultrafine copper materials. Waste Management 60, 643-651. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.001.

Yang, Y., Walton, A., Sheridan, R., Güth, K., Gaus, R., Gutfleisch, O., Buchert, M., Steenari, B.M., Van Gerven, T., Jones, P.T., Binnemans, K., 2017. REE recovery from end-of-life NdFeB permanent magnet scrap: a Critical Review. J. Sustain. Metall. 3, 122–149. https://doi.org/10.1007/s40831-016-0090-4.

Yurramendi, L., Gijsemans, L., Forte, F., Aldana, J.L., del Río, C., Binnemans, K., 2019. Enhancing rare-earth recovery from lamp phosphor waste. Hydrometallurgy 187, 38–44. https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.04.030.

Zhang, H., Dreisinger, D.B., 2004. The recovery of gold from ammoniacal thiosulfate solutions containing copper using ion exchange resin columns. Hydrometallurgy, 72 (3–4), 225-234. https://doi.org/10.1016/S0304-386X(03)00183-X.

Zhang, X., Cao, H.B., Xie, Y.B., Ning, P.G., An, H.J., You, H.X., Nawaz, F., 2015. A closed-loop process for recycling LiNi1/3Co1/3Mn1/3O2 from the cathode scraps of lithium-ion batteries: Process optimization and kinetics analysis. Sep. Purif. Technol. 150, 186–195. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2015.07.003.

Zhang, X., Li, L., Fan, E., Xue, Q., Bian, Y., Wu, F., Chen, R., 2018a. Toward sustainable and systematic recycling of spent rechargeable batteries. Chem. Soc. Rev. 47, 7239–7302. https://doi.org/10.1039/C8CS00297E.

Zhang, X., Bian, Y., Xu, S., Fan, E., Xue, Q., Guan, Y., Wu, F., Li, L., Chen, R., 2018b. Innovative application of acid leaching to regenerate Li(Ni⅓Co⅓Mn⅓)O_2 cathodes from spent lithium-ion batteries. ACS Sustain. Chem. Eng. 6, 5959-5968. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b04373.

Zheng, Y., Long, H.L., Zhou, L., Wu, Z.S., Zhou, X., You, L., Yang, Y., Liu, J.W., 2016. Leaching Procedure and Kinetic Studies of Cobalt in Cathode Materials from Spent Lithium Ion Batteries Using Organic Citric Acid as Leachant. Int. J. Environ. Res. 10, 159–168. DOI: 10.22059/IJER.2016.56898.

Zheng, Y., Song, W., Mo, W., Zhou, L., Liu, J-W., 2018. Lithium fluoride recovery from cathode material of spent lithium-ion battery. RSC Advances 8, 8990–8998. DOI: 10.1039/c8ra00061a.

Zheng, X., Gao, W., Zhang, X., He, M., Lin, X., Cao, H., Zhang, Y., Sun, Z., 2017. Spent lithium-ion battery recycling - Reductive ammonia leaching of metals from cathode scrap by sodium sulphite. Waste Manage. 60, 680−688. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.007.

Zhuang, L., Sun, C., Zhou, T., Li, H., Dai, A., 2019. Recovery of valuable metals from LiNi0.5Co0.2Mn0.3O2 cathode materials of spent Li-ion batteries using mild mixed acid as leachant. Waste Manag. 85, 175-185. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.12.034.

Hazardous As(III) Removal From Pyrite Ash Using Central Composite Design

Tuğba TÜRK
Karadeniz Technical University, Engineering Faculty, Department of Mining Engineering, 61080, Trabzon

Abstract

The aim of this study is to remove arsenite (As(III)) with pyrite ash (PA) using response surface methodology (RSM). Central composite design (CCD) was used for optimization of this process. The effects of pH, dosage and initial As(III) concentration on arsenic adsorption were studied. Arsenic leaching efficiency increased with increasing dosage. The effect of pH on adsorption is negligible. Arsenic removal efficiency ranges from (72% -95%).The results of this study showed that toxic As(III) can be removed with pyrite ash. Regression equation and analysis of variance (ANOVA) were obtained using the MINITAB program. This model is obtained by analysis of variance at 0.924 confidence level.

Keywords: Arsenic adsorption, arsenic, pyrite ash, statistical modeling

1. Introduction

Pyrite ash (PA) is a waste generated during roasting of pyrite ores in the production of sulfuric acid. At Eti Mining Facilities in Bandırma, where PA is produced, it is often stored or dumped into the sea and is therefore a potential source of pollution (Tugrul et al. 2007). Alp et al. (2009) showed that PA can be used as a source of iron in cement production. Another possible application is to use it to remove arsenic from waters. One of the most serious natural pollutants in groundwater is arsenic. Arsenic mainly consists of two stable oxidation states: Arsenate (As(V)) and Arsenite (As(III)) (Payan 1999). Arsenic has been accepted as a carcinogenic substance by the World Health Organization (WHO) (Ng et al. 2003). The toxicity of arsenic depends on its chemical form. Arsenite (As(III)) is 60 times more toxic than arsenate (As(V)) (Kundu et al.2004). The World Health Organization (WHO) has limited the maximum amount of arsenic in drinking and utility waters to 10 μg/L (WHO 2003). Therefore, suitable removal methods are developed for arsenic in drinking water. Among these techniques, adsorption is the most widely used method with its simplicity and regeneration potential (Zhang et al.2004). If the adsorbent is cheap and easy to use, adsorption is an effective technology. The strong adsorption of arsenic to Fe oxides and hydroxides (Ravenscroft et al. 2009), which are abundant in PA, and its cheap and abundant availability make pyrite ash attractive (Zhang et al. 2008). Since arsenite (As(III)) is more toxic and much more difficult to remove than arsenate (As (V)), studies were generally carried out on removal of arsenate (As (V)) (Chang et al.2007). There are no previous studies of hazardous As(III) removal using PA. This study was used to test this potential useful use of this waste material. In this study, statistically designed experiments were performed to remove arsenite (As(III)) with PA.

Experimental Design

Response Surface Method (RSM)

In recent years, experimental design methods have been used widely in many different areas. Classical experiment is an approach that takes time and the number of experiments is high. With this approach, problems may arise in systems with multivariate and with more than one dependent variable. In this case, experimental models and statistical analysis methods play an important role. Optimization of ambient conditions; It provides great advantages in terms of increasing efficiency and reducing costs. The process is easy to control with the effective use of these methods. RSM is one of these methods (Myers and Montgomery, 2002).

RSM is a method frequently used in both industrial and scientific studies. This method evaluates the mathematical and statistical data together and has recently been used frequently in determining the optimum experimental conditions in literature studies (Çalban et al., 2006; Mohapatra et al., 2009; Zhang et al., 2010). The most commonly used design types in determining the RSM functions are full factorial design, partial factorial design and Central composite design (CCD) (Ito et al., 2001). CCD is one of the most frequently used applications. In the CCD method, there are two factorial points, axial points (α) and center points. The two factorial points of the method consist of the + (highest) or - (lowest) levels of a factor (Table 1). Axial points are the + α and -α values determined by Equation (1) by the program that are beyond the two level points specified by the experimenter.

$\alpha = 2k/4$ (k number of variables) (1)

The center points are the points repeated to predict the experimental error. They are the midpoints of the two level (factorial) points of the parameters. As a result, there are five levels of each parameter in CCD. These are factorial points expressed as +1 and -1, axial points expressed as + α and –α, center points expressed as 0. The experimental results obtained from the CCD model are evaluated using Equation (2).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i \chi_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^{k} \beta_{ij} \chi_i \chi_j + \sum_{i=1}^{k} \beta_{ii} \chi_{i^2}$$

This quadratic model takes into account the linear effects of n variables, their quadratic effects and their interactions. In this model, y estimated response describes β_0, constant coefficient, β_i, linear coefficient, β_{ij}, interaction effect between i and j variables and k factor number (Liu et al., 2011; Khor & Abdullah, 2012). The regression equation is formed by estimating the coefficients in the second order model with regression analysis with the least squares method. With the help of the created equation, the estimated results for the answers are obtained and the accuracy of the predictions and whether the model is sufficient or not are checked.

2. Material and Methods

2.1. Material characterization

In this study, the Eti Mining Facilities (Bandırma, Turkey) obtained pyrite ash (PA) were used. The chemical composition of the copper slag was determined with the ICP-MS device in the Acme Analysis Laboratory, the mineralogical composition with Rigaku Geigerflex XRD device (2θ=5-65º) and the grain size distribution with the Malvern Mastersizer (Hydro MU2000) device. Brunauer-Emmett-Teller (BET) was used to determine the surface area of PA and its specific surface area was found to be 2.31 m^2/g. The XRD pattern shows presence of mainly hematite (Fe_2O_3) and magnetite (Fe_3O_4) and traces of quartz (SiO_2) (Fig. 1).

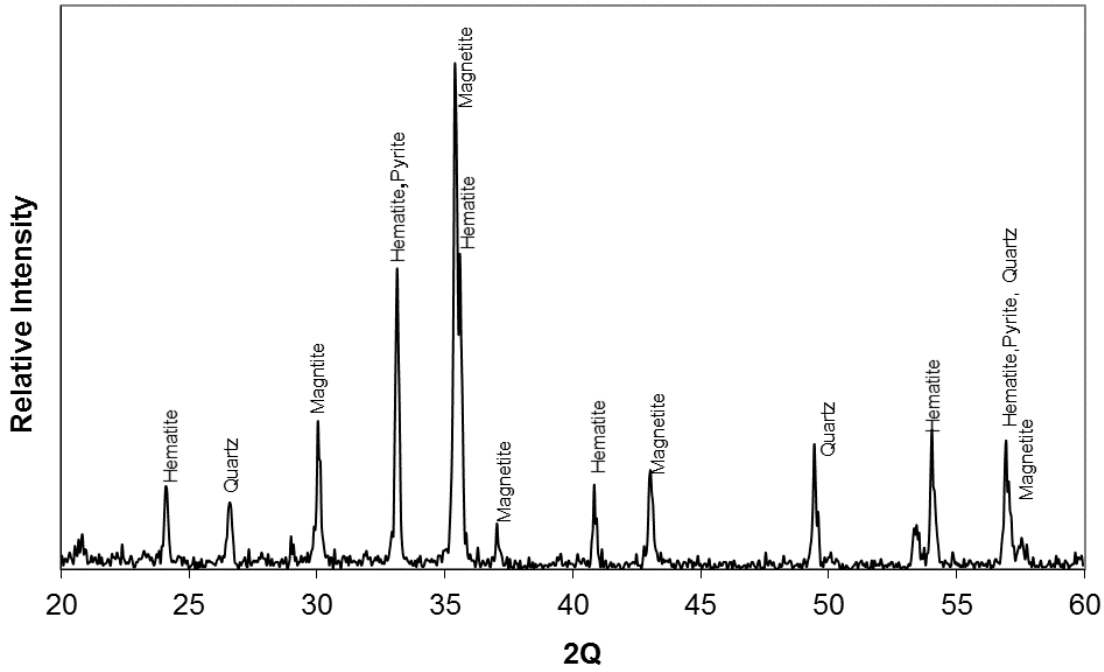


Figure 1. Results of X-ray diffractogram of processed pyrite ash wastes

2.2. Experimental procedure

In arsenic removal from pyrite ash, pH (X_1) (3, 5, 8.5, 12, 14), adsorbent dosage (X_2) (47, 35, 18, 11, 1 g/L) and initial concentration of As(III) (X_3) (50, 130, 275, 500, 653 µg/L) effect was examined at 5 levels (Table 1). All experiments were performed at pH 8.5, 18 g/L adsorbent dosage, 275 µg/L As(III) concentration, 400 rpm. speed and 5 hours. The samples taken for analysis after adsorption were centrifuged at 4000 rpm for 15 minutes. The arsenic concentrations were then analyzed in an Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS).

Table 1. Factors and levels used in experiment design

Factors	**Low Level**	**Central Point**	**High Level**
	-1	**0**	**+1**
pH, (X_1)	5	8.5	12
Adsorbent dosage, (g/L) (X_2)	1	18	35
Initial As(III) concent., (µg/L) (X_3)	50	275	500

3. Results and Discussion

Surface Response Analysis and Discussion

The experimental design was designed with the MINITAB program using a 3-factor full factorial CCD. The designed experimental conditions and experimental and predictive values of arsenic adsorption are shown in Table 2. Table 2 shows 8 cube points, 6 axial points and 6 center points. Arsenic removal efficiency ranges from 72% to 95%. P value was used to check the significance of each factor and factor interaction (Türk, 2016).

According to the p-value <0.05, the model is significant. The response surface regression results gave the coefficient for all terms, and each effect was independently estimated (Table 2).

Table 2. Experimental and predictive values of CCD experimental design and arsenic (III) removal (%)

Run no	Coded level of variables			Arsenic(III) removal (%)	
	X_1	X_2	X_3	Experimental	Predicted
1	-1	-1	-1	98.12	97.21

2	1	-1	-1	98.04	97.69
3	-1	1	-1	98.01	99.26
4	1	1	-1	98.12	98.24
5	-1	-1	1	72.49	73.91
6	1	-1	1	76.46	76.89
7	-1	1	1	92.43	94.46
8	1	1	1	93.47	95.94
9	-2	0	0	95.47	93.14
10	2	0	0	96.01	94.79
11	0	0	0	90.00	90.10
12	0	2	0	93.00	89.93
13	0	0	-1	95.24	98.01
14	0	0	2	93.03	89.50
15	0	0	0	92.36	92.80
16	0	0	0	93.14	92.80
17	0	0	0	92.00	92.80
18	0	0	0	94.00	92.80
19	0	0	0	95.12	92.80
20	0	0	0	93.00	92.80

When Table 3 is examined, it is seen that the values coded X_2(dosage) and X_3(initial concentration) are more effective on the arsenic removal efficiency. The R^2 value calculated for the accuracy of the model should be at least 0.80 (Yang et al., 2013). The R^2 value in the study was found to be 0.92. This shows that the fit of the model is high.

Table 3. Estimated Regression Coefficients for Arsenic(III) removal (%)

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	102.444	5.57300	18.382	0.000
pH	-0.536	1.03621	-0.518	0.616
Dosage (g/L)	0.548	0.20168	2.719	0.022
Concentration (µg/L)	-0.086	0.01590	-5.383	0.000
pH*pH	0.034	0.05462	0.615	0.552
Dosage (g/L)*Dosage (g/L)	-0.014	0.00314	-4.572	0.001
Concentration (µg/L)* Concentration (µg/L)	0.000	0.00002	2.896	0.016
pH*Dosage (g/L)	-0.006	0.01512	-0.417	0.686
pH* Concentration (µg/L)	0.001	0.00114	0.695	0.503
Dosage (g/L)* Concentration (µg/L)	0.001	0.00024	5.139	0.000

S = 2.545 R-Sq = 0.92

Table 4 shows the results of ANOVA (variance) analysis. The p value (0.000) for this model was less than 0.05 (Table 4), suggesting that the model is statistically significant. The analysis-of-variance table shows that the interaction between pH-dosage and pH- concentration was not statistically significant (Table 4).

Table 4. Analysis of Variance for Arsenic removal (%)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P

Regression		9	789.412	789.412	87.712	13.54	0.000
Linear		3	457.903	225.330	75.110	11.59	0.001
Square		3	156.134	156.134	52.045	8.03	0.005
Interaction		3	175.375	175.375	58.458	9.02	0.003
Residual Error		10	64.788	64.788	6.479		
Lack-of-Fit		5	57.955	57.955	11.591	8.48	0.017
Pure Error		5	6.833	6.833	1.367		
Total	19	854.200					

Estimated model equation for arsenic response values is shown in equation (3).

$$Arsenic\ removal\ efficiency = 102.44 - 0.536X_1 + 0.548X_2 - 0.086X_3 + 0.034X_1^2 - 0.014X_2^2 + X_3^2 - 0.006X_1X_2 + 0.001X_1X_3 + 0.001X_2X_3 \quad (3)$$

After the regression analysis, the estimated value and the actual value graph were drawn (Fig. 2). As can be seen from Fig. 2, the actual values and the estimated values are compatible with each other.

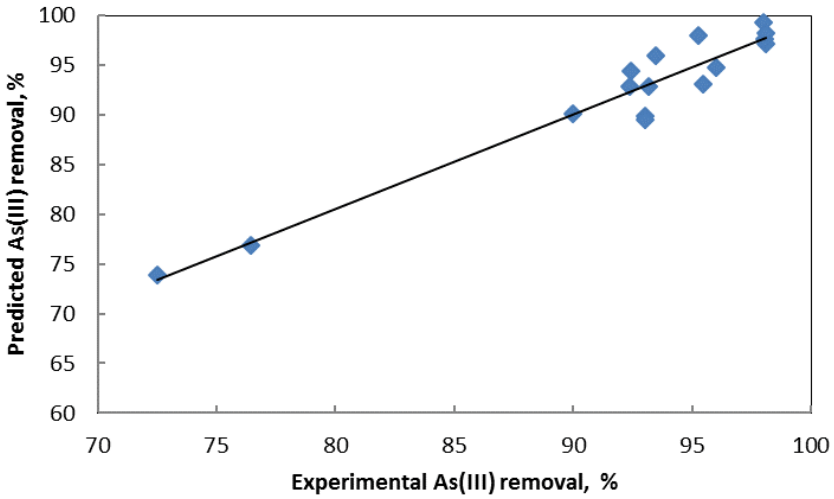


Figure 2. As(III) removal estimated value vs. actual value

The optimum leaching conditions and possible response values obtained as a result of the experimental study are shown in Table 5. Optimum As(III) removal efficiency was found to be 95.12% for three experimental conditions. This value matches the estimated As(III) removal efficiency. Optimum conditions were achieved at pH 8.5, when the initial As(III) concentration was 275 µg/L and the adsorbent dosage was 18 g/L.

Table 5. Estimated and experimental arsenic removal efficiency with optimum adsorption conditions and comparative results

pH	Initial As(III) concentration	Dosage	As(III) removal, %	
			Predicted	Experimental
X_1	µg/L, X_2	g/L, X_3		
8.5	18	275	92.80	95.12

The arsenic removal efficiency obtained can be seen in Figure 3-5 with three-dimensional graphics. As seen in Figure 3, the As adsorption was only weakly dependent on the initial pH at pH≤ 12. As(III) removal increased with the amount of PA, due to the additional available adsorbent surface (Genc et al. 2003) (Fig. 3).

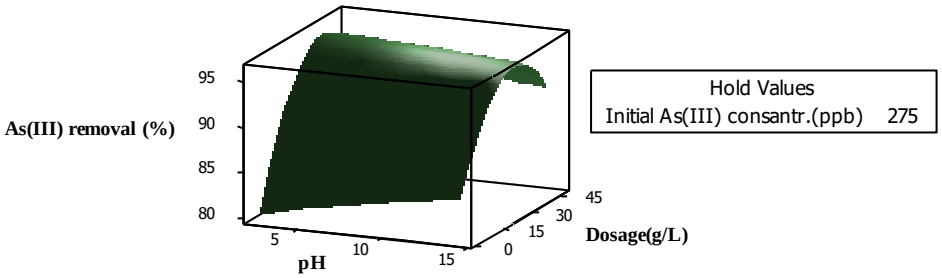


Figure3. The effect of pH and dosage at constant initial arsenic concentration (275 µg/L) on arsenic adsorption

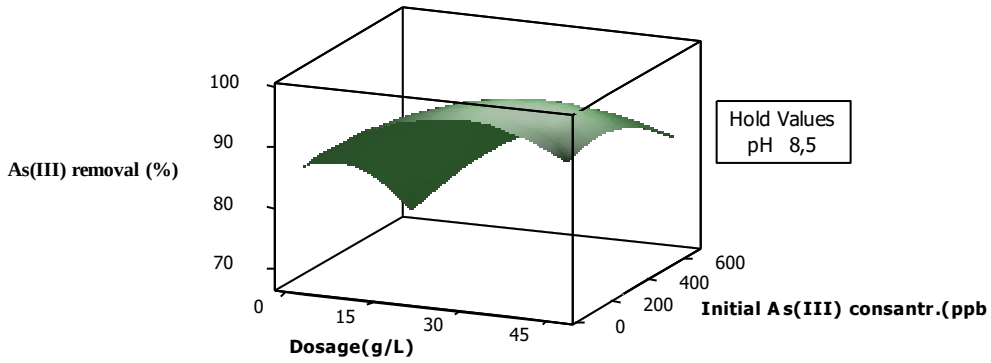


Figure 4. The effect of initial arsenic concentration and dosage at constant pH on arsenic adsorption

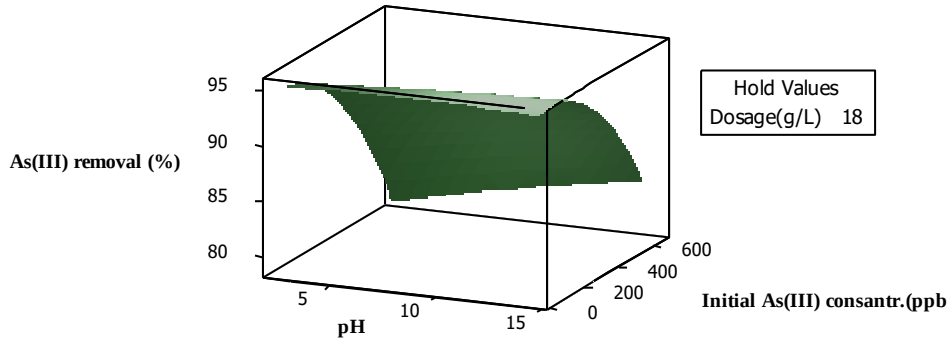


Figure 5. The effect of initial arsenic concentration and pH at constant dosage on arsenic adsorption

After a contact time of 5 h, As(III) removal was 72% at a PA dosage of 1 g/L, compared with 95% at 18 g/L PA. In subsequent studies, the adsorbent dosage was set at 18 g/L. The pH effect is less effective on As(III) removal compared to the dosage effect.

According to Figures 4 and 5; The concentration of As (III) remaining in solution did not change at the initial concentrations of 50, 130 µg/L in 5 hours with PK. At these initial concentrations, the concentration of As (III) was reduced below the limit value set by the WHO.

4. Conclusions

In an adsorption study with more than one variable, by using the Response Surface method (RSM), a large number of results can be obtained with a small number of experimental studies. In addition, the results can be analyzed statistically and the results can be made healthier with the obtained graphics. The effects of pH, dosage and initial As(III) concentration on arsenic adsorption were studied. The model equation obtained using the Response Surface method (RSM) fit well with the experimental data with a correlation coefficient of 0.92. Arsenic removal efficiency ranges from (72%-95%). Optimum conditions were achieved at pH 8.5, when the initial As(III) concentration was 275 µg/L and the adsorbent dosage

was 18 g/L. The result of the experiment made at optimum points; the optimum As(III) removal efficiency was found to be 0.95.

Acknowledgement

The authors thank Scientific Research Projects Coordination Unit of Karadeniz Technical University (Project Kod No: 2013ARGEBD-9040) for the financial support of this work.

References

Alp, I., Deveci, H., Yazıcı, E.Y., Türk, T. and Sungun, H. (2009). Potential use of pyrite cinders as raw material in cement production: Results of industrial scale trial operations. *Journal of Hazardous Materials, 166*, 144–149.

Çalban, T., Çolak, S., and Yeşilyurt, M. (2006). Statistical modeling of Chevreul's salt recovery from leach solutions containing copper. *Chemical Engineering and Processing*, *45*, 168-174.

Chang, W., Jones, H., Valsami, J.E. and Garelick, H. (2007). Evaluation of the Arsenic(V) Removal From Water by Hydrotalcite-Like Compounds. In: Kang J (Ed), Proceedings of the 7th UK Chinese Association of Resources and Environment (CARE) Annual General Meeting, 15 September 2007, Greenwich, 1-8.

Genc, H., Tjell, J.C., McConchie, D. and Schuiling, O. (2003). Adsorption of arsenic from water using neutralized red mud. *J Colloid and Inter Sci*, *264*, 327-334.

Khor, C.Y. and Abdullah, M.Z. (2012). Optimization of IC encapsulation considering fluid/structure interaction using response surface methodology. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *29*, 109–122.

Kundu, S. and Gupta, A.K. (2006) Adsorption characteristics of As(III) from aqueous solution on iron oxide coated cement (IOCC). *Journal of Hazardous Materials*, *142*, 97-104.

Liu, J., Wen, S., Liu, D. and Lv, M. (2011). Response surface methodology for optimization of copper leaching from a low-grade flotation middling. *Journal of minerals and metallurgical processing*, *28*, 139–145.

Mohapatra, S., Pradhan, N., Mohanty, S. and Sukla, L.B. (2009). Recovery of nickel from lateritic nickel ore using Aspergillus niger and optimization of parameters. *Minerals Engineering*, *22*, 311-313.

Myers, R.H. and Montgomery, D.C. (2002). Response Surface Methodology. John Wiley & Sons, 2. Baskı, NewYork.

Ng, J., Wang, C.J. and Shraim, A. (2003). A global health problem caused by arsenic from natural sources. *Chemosphere* 52, 1353–1359.

Payan, A.V. (1999). Arsenic and lead removal from water using tailored zeolites. MSc Thesis, University of Puerto Rico.

Ravenscroft, P., Brammer, H. and Richards, K. (2009). Arsenic pollution: a global synthesis. Oxford: Wiley-Blackwell.

Tugrul, N., Derun, E.M. and Piskin, M. (2007) Utilization of pyrite ash wastes by pelletization process. *Powder Technology, 176*, 72–76.

Türk, T. (2016). Optimization of arsenic removal from pyrite ash by NaOH leaching using central composite design. *Desalination and Water Treatment*, *57*, 8575–8582.

WHO, (2003). Guidelines for Drinking-Water Quality. Volume 1: Recommendations, 2nd editions, World Health Organization, Geneva.

Zhang, S., Liu, C., Luan, Z., Peng, X., Ren, H. and Wang, J. (2008). Arsenate removal from aqueous solutions using modified red mud. *Journal of Hazardous Materials*, *152*,486-492.

Zhang, W., Singh, P., Paling, E. and Delides, S. (2004). Arsenic removal from contamined water by natural iron ores. *Minerals Engineering*, *17*, 517-524.

Andezit Kayaçların Aşınma Davranışlarının Hardgrove İndeks (HGI) Deney Yöntemiyle Tahmini

Estimation of Wear Behaviors of Andesite Rocks by Hardgrove Index (HGI) Method

Utku SAKIZ*[1]

[1]*Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak*

Öz

Kayaçların aşındırıcılık özellikleri kesici ucun tasarımını, aşınmasını, makine verimini ve proje maliyetlerini doğrudan etkileyen önemli bir kayaç özelliğidir. Bu çalışmanın temel amacı kayaçların aşınma davranışlarının belirlenmesinde HGI deney yönteminin kullanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla, Zonguldak bölgesinde, 7 magmatik kökenli andezit kayacı incelenmiştir. Çalışma kapsamında, HGI deneyinden elde edilen veriler, literatürde yaygın kullanılan Cerchar aşınma indeksi (CAI), Schimazek aşınma indeksi (F) ve Aşınma değeri (Av) gibi deney yöntemlerinden elde edilen aşınma değerleri ile karşılaştırılmıştır. Sınırlı veri ile elde edilen sonuçlar üzerinde yapılan istatistiksel değerlendirmelerde HGI ile CAI, Av ve F arasında sırasıyla R^2=0.92, 0.91 ve 0.61 olan güçlü üssel ilişkilerin olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Cerchar Aşınma İndeksi, Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi, Aşınma İndeksi, Schimazek Aşınma İndeksi

Abstract

The abrasivity of rocks is an important parameter that directly affects the tool design, tool wear, machine efficiency and project costs. The main purpose of this study is to investigate the availability of HGI test method for estimating the wear behavior of the rocks. For this purpose, 7 magmatic origin andesite rocks from Zonguldak region were studied. Within the scope of the study, the data obtained from HGI experiment was compared with the wear values obtained from experimental methods such as Cerchar abrasivity index (CAI), Schimazek wear index (F) and Abrasion value (Av), which are widely used in the literature. Based on the statistical analysis of the findings obtained from limited data, strong exponential relationship between HGI and CAI, Av and F were observed with R^2 = 0.92, 0.91 and 0.61, respectively.

Keywords: Cerchar Abrasivity Index (CAI), Hardgrove Grindability Index (HGI), Abrasion Value (Av), Schimazek Wear Index (F)

1 GİRİŞ

Yeraltı ve yerüstü kazı uygulamaları, tünelcilik, su, petrol ya da doğal gaz kaynaklarının çıkarımı gibi madencilik ve inşaat mühendisliği faaliyetlerinde, farklı türde kazı makinalarından (tünel açma makinaları, galeri açma makinaları, deliciler vb.) yararlanılmaktadır. Mekanize bir kazıda, arzu edilen faydalara ulaşabilmek ve uygun bir kazı ekipmanı tercihi yapmak için öncelikle kazılacak formasyonu oluşturan kayacın fiziko-mekanik ve jeolojik özelliklerinin iyi bilinmesi gereklidir. Bu kapsamda, özellikle, kayaç ile kazı makinalarının etkileşimi sonucunda kesici uçlarda gerçekleşen aşınma, keskilerin ömrünü belirlediği gibi kazı verimliliğini ve proje maliyetlerini önemli ölçüde etkilemektedir (Abu Bakar et al. 2016).

Kayaç aşındırıcılığı, keskilerdeki aşınmayı etkileyen en temel parametre olduğu gibi oldukça önemli bir kayaç özelliğidir. Konuyla ilgili çalışan araştırmacılar, kayaçların aşınma davranışlarını doğru tahmin edebilmek amacıyla NTNU/SINTEF, CAI, Schimazek aşınma indeksi (F), Vickers kayaç sertlik numarası (VHNR) vb. çeşitli aşınma indeks deney yöntemlerinden yararlanmaktadır (Tamrock 1999, Majeed and Abu Bakar 2016, Kahraman et al. 2016, Majeed and Abu Bakar 2019). Bu yöntemler arasında, CAI deney yöntemi uygulama kolaylığı açısından kayaçların aşınma davranışlarının belirlenmesinde birçok araştırmacı tarafından yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu bildiri kapsamında irdelenen ve kayaç aşındırıcılığının belirlenmesinde önemli bir yöntem olan Schimazek aşınma indeksi ise, kayacın mineral

ve çekme dayanımı özelliklerinden yola çıkarak dolaylı bir aşınma tahmini sunmaktadır. Diğer bir yöntem ise, NTNU/SINTEF tarafından geliştirilen ve kazı makinalarının performans tahmininde kullanılan kayaç Aşınma değeridir (Av). Av değeri, kırılmış kaya parçacıkları ile temas eden uçta zamana bağlı oluşan aşınma olarak tanımlanmaktadır (Bruland 2000, Majeed and Abu Bakar 2019). Yukarıda ifade edilen aşınma indeks deney yöntemleri, birbirleriyle karşılaştırıldıklarında, nispeten zaman alıcı ve yüksek miktarda kaya örneği gerektirebilmektedir (Garzon-Roca et al. 2020). Ayrıca, deneyin yapılabilmesi için özel donanımlara ihtiyaç duyulmaktadır (Yaralı et al. 2018). Tamrock (1999), kayaç aşındırıcılığının belirlenmesinde kullanılan yöntemler arasında Hardgrove öğütülebilirlik indeks (HGI) deney yöntemini de tanımlamıştır. HGI deney yöntemi, ağırlıklı olarak kömür örneklerinin öğütülebilirliğinin analizi için kullanılmasının yanı sıra, son yıllarda kayaç örneklerinin öğütülebilirliklerinin tayini için de kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle, pratik ve kolay sonuç alınabilen bir yöntem olması nedeniyle de giderek önem kazanmıştır (Swain and Rao 2009, Abdelhaffez 2012).

Madencilik uygulamalarında, aşınma ve aşınmaya bağlı koşullar ile çok farklı alanlarda karşılaşılabilmektedir.

Özellikle, bir kazı projesi düşünüldüğünde, malzeme özellikleri ve operasyon maliyetleri açısından kayaçların aşınma davranışları iyi irdelenmelidir. Dolayısıyla, mühendislik uygulamalarında, aşınma gibi kayaca ait özelliklerin dikkate alınması ve bu özelliklerin pratik ve doğru bir şekilde tahmin edilmeye çalışılması önemli bir yer tutmaktadır. Bu bildiri kapsamında, magmatik kökenli andezit kayaçların aşınma değerlerinin tahmininde HGI'nın kullanıldığı bir araştırmanın sonuçları özetlenmiştir. Bu çalışmanın yeniliklerinden biri, kayaçların aşınma davranışlarının tahmininde, basit ve kullanışlı bir yöntem olan HGI'nın kullanılmasıdır. Öncelikle, aşınma ve HGI deney yöntemlerine değinilmiş, sonrasında ise deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular özetlenmiştir. Daha sonra, elde edilen bulgular istatistiksel analiz yöntemleri ile değerlendirilmiş ve ulaşılan sonuçlar sunulmuştur.

2 İndeks Deney Yöntemleri

Bu bölümde, çalışmada göz önünde bulundurulan aşınma ve HGI deney yöntemleri kısaca özetlenmiştir.

2.1 Cerchar Aşınma İndeksi (CAI)

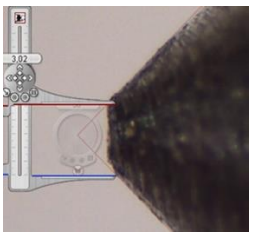
ISRM (2014)'e göre Cerchar aşınma indeksi (CAI), 70 N'luk statik yük altında, 2000 N/mm^2 çekme dayanımına sahip Rockwell Sertliği 55±1 olan ve 90° tepe açılı konik bir ucun, kayaç yüzeyinde 10 mm çekilmesi ile gerçekleştirilen deney yöntemi olarak tanımlanmıştır. Deney sonrası, uçlardaki aşınma 35x büyütmeli bioküler mikroskop altında incelenerek, uçtaki aşınma yüzeyinin çapı (d), 0.1 (1/10) mm hassasiyetinde ölçülmekte ve tespit edilen aşınma miktarı kayacın aşındırıcılığını vermektedir (Şekil 1).



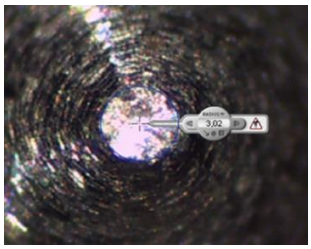
a



b



c



d

Şekil 1 CAI deneyi, a-CAI deney aleti (West), b-görüntüleme sistemi, c/d-aşınmış uçların ölçümü (35x mikroskop).

2.2. Schimazek Aşınma İndeksi (F)

Schimazek aşınma indeks F-değerleri, Schimazek ve Knatz (1970) tarafından aşağıdaki Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$F = dort * EQC * BTS\ (N/mm) \quad (1)$$

Burada; F Schimazek aşınma indeks değeri, d_{ort} mineral tanelerinin ortalama çapı (mm), EQC eşdeğer kuvars içeriği (%) ve BTS ise dolaylı çekme dayanımını (MPa) ifade etmektedir. Kaya örneklerinin, BTS değerleri ISRM (2007) tarafından önerilen yöntemlere göre yapılmaktadır. Çekme dayanımı, taneler arasındaki bağın bir ölçüsü olarak alınmaktadır. Kuvars dışındaki minerallerin sertlikleri, kuvars sertlik değerine göre tanımlanmaktadır. (Ersoy and Waller 1995, Ziaei et al. 2020). Bu nedenle, her mineral miktarı kuvarsa bağlı Rosiwal aşındırıcılığı ile çarpılmaktadır. Kaya örneklerinin eşdeğer kuvars içeriği (EQC), Rosiwal mineral aşındırma oranı kullanılarak ve Schimazek ve Knatz (1970) tarafından açıklandığı gibi aşağıda verilen Eşitlik 2 kullanılarak hesaplanmaktadır. Mineral ölçümü, mikroskop altında incelenen ince kesitler üzerinden yapılmaktadır.

$$EQC = \sum_{i=1}^{n} Vi * Ri \quad (2)$$

Burada; Vi=mineral miktarı (%), Ri Rosiwal aşındırıcılığı ve n = toplam mineral sayısını tanımlamaktadır.

2.3 Aşınma Değeri (Av)

Norveç asınma deneyi, NTNU/SINTEF tarafından geliştirilen yönteme göre, 10 mm genişliğinde ve 30 mm boyundaki tungsten karbür ucun toz halindeki kaya parçacıkları ile etkileşimi sonucunda uç yüzeyinde zamana bağlı oluşan aşınmanın ölçülmesi esasına dayanır (Dahl 2003). Deney, 80 gr/dk hızla beslenen ve 1 mm'den küçük boyuta indirgenmiş toz halindeki kaya parçacıklarının, üzerine 10 kg ağırlık yüklenen uç altından, 20 dev/dk hızla 5 dk boyunca dönmesi ile gerçekleştirilmektedir. Aşınma deney aleti Şekil 2'de sunulmuştur. Deney sonucunda, uçta oluşan ağırlık kaybı (miligram cinsinden) aşınma miktarı (Av) olarak tanımlanır (Yaralı vd. 2008).



Şekil 2 Av deney aleti.

2.4 Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi (HGI)

Hardgrove indeks deneyi, ASTM D5003 standart yöntemi dikkate alınarak uygulanmaktadır. Bu standarda göre, -1.19 mm (16 No'lu elek) ile + 0.59mm (30 No'lu elek) elek boyutunda hazırlanan 50 gram kaya örneği, bilyalı değirmende 60 devir çevrimden geçirilmektedir. Çevrim sonrası öğütülmüş malzemenin 0.074mm (200 No'lu elek) elek boyutundan elenmesiyle HGI değerleri Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$HGI = 13 + 6.93mH \quad (3)$$

Burada, mH 200 No'lu elekten geçen kaya örneğinin ağırlığı (gr) olarak tanımlanmaktadır. Elde edilen HGI değeri, iki ila üç paralel ölçümün (sapması %3'ü geçmeyen) aritmetik ortalaması alınmasıyla belirlenmektedir. Çalışma kapsamında kullanılan HGI deney aleti Şekil 3'te sunulmuştur.

2.5 Tane Boyut Dağılımı

Tane boyut analizi, kırılmış ya da öğütülmüş kayaç örneğinin tane boyutları ile miktarları arasındaki ilişkinin belirlenmesi amacıyla yapılmaktadır. Çalışma kapsamında, HGI deneyi sonrası öğütülmüş kaya örnekleri Malvern Mastersizer S 2000 cihazıyla tane boyut analizine tabii tutulmuştur. Lazer difraktometre yöntemiyle çalışan "Malvern Matersizer S" boyut analiz cihazı (Şekil 4), lazer ışın kaynağından yararlanarak, 0.1-2000 µm arasındaki malzemelerin boyut dağılımlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.



Şekil 3 HGI deney aleti.



Şekil 4 Malvern tane boyut analiz cihazı.

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

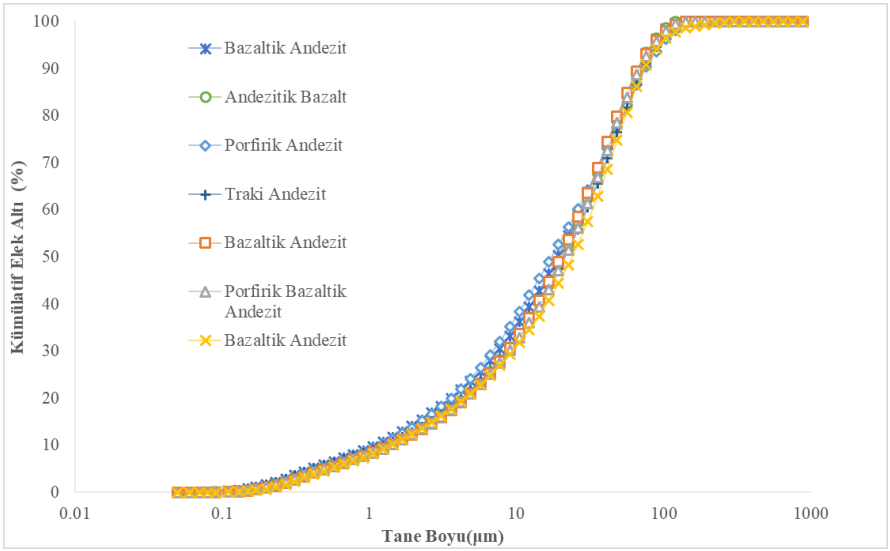
Çalışma kapsamında, yedi magmatik kökenli andezit kayaç örneği incelenmiştir. Söz konusu kayaçların CAI deneyleri ISRM (2014),Av deneyleri Dahl (2003) ve F değerleri Schimazek and Knatz (1970) tarafından önerilen yöntemlere göre Yaralı vd. (2008) tarafından araştırılmış ve kayaçların aşınma davranışları belirlenmiştir (Tablo 1). Yapılan bu çalışma kapsamında ise, önceki dönemde yapılan çalışmalardan farklı olarak kayaçların HGI öğütülebilirlik özellikleri de incelenmiş ve Tablo 1'de sunulmuştur. Ayrıca, tane boyut analiz sonuçları ile kümülatif elek altı grafikleri oluşturulmuş (Şekil 5) ve her bir kaya örneği için d50 (öğütülmüş malzemenin %50'sinin geçtiği boyut) değerleri belirlenmiştir (Tablo 1). Şekil 5'te verilen tane boyut analizi incelendiğinde, andezit kökenli kayaç örneklerinin tane boyut analizlerinde birbirine yakın sonuçların elde edildiği görülmektedir.

Tablo 1 Kayaçların aşınma ve öğütülebilirlik indeks özellikleri.

Örnek Adı	Av	Sınıfı	CAI	Sınıfı	d_{or} (mm)	EQC (%)	F	Sınıfı	HGI	d50

Bazaltik andezit	3.00	Çok düşük	3.10	Yüksek	7	0.8	28.90	2.20	Çok fazla aşındırıcı	73.29	19.10
Andezitik bazalt	2.00	Çok düşük	2.60	Orta aşındırıcı	4	0.7	24.70	1.72	Çok aşındırıcı	77.45	20.56
Porfirik andezit	0.50	Oldukça düşük	1.55	Düşük	8	0.3	23.53	0.46	Orta aşındırıcı	92.70	17.30
Traki andezit	3.50	Düşük	4.60	Çok yüksek	9	1.2	31.45	2.33	Çok fazla aşındırıcı	66.36	21.32
Bazaltik andezit	3.00	Çok düşük	3.80	Yüksek	7	0.7	28.05	2.42	Çok fazla aşındırıcı	73.98	19.95
Porfirik bazaltik andezit	2.50	Çok düşük	3.20	Yüksek	4	0.5	28.05	0.89	Aşındırıcı	70.52	24.41
Bazaltik andezit	3.00	Çok düşük	4.00	Çok yüksek	8	0.8	29.45	3.21	Çok fazla aşındırıcı	67.75	23.89

Av: Aşınma Değeri, CAI: Cerchar aşınma indeksi, dort: mineral tanelerinin ortalama çapı (mm), EQC: eşdeğer kuvars içeriği (%), F: Schimazek aşınma indeks değeri, HGI: Hardgrove öğütülebilirlik indeksi



Şekil 5 Tane boyut analizi.

4 SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tablo 1'de, aşınma ve HGI deneylerinden elde edilen ortalama değerler sunulmuştur. Buna göre, Av değerleri 0.50-3.50 değer aralığı ve çok düşük- düşük sınıfında değişmektedir. CAI değerleri ise, 1.55-4.60 değer aralığı ve düşük-çok yüksek sınıf aralıklarındadır. Diğer bir aşınma indeksi Schimazek F aşınma değerleri, 0.46-3.21 değer aralığında ve orta aşındırıcı-çok fazla aşındırıcı sınıf aralıklarında tanımlanmıştır. HGI öğütülebilirlik indeks deney verilerinin ise, 66.36-92.70 değer aralıklarında yer aldığı belirlenmiştir.

Çalışma kapsamında, kayaçların aşınma indeks değerleri ile HGI deneylerinden elde edilen verileri istatistiksel olarak analiz etmek amacıyla Microsoft Excel programı kullanılmış ve bir korelasyon matrisi

oluşturulmuştur (Tablo 2). Tablo 2'de verilen korelasyon matrisi incelendiğinde, kayaçların HGI özellikleri ile Av, CAI ve F aşınma özellikleri arasında sırasıyla, -0.95, -0.92 ve -0.71 olan çok yüksek korelasyon katsayısı değerleri belirlenmiştir. Bunlara ek olarak, EQC ve d_{ort} ile HGI arasında da sırasıyla, negatif yönlü 0.89 ve 0.74'lük yüksek korelasyonlar belirlenmiştir.

Tablo 2 Kayaç örneklerinin aşınma ve HGI özellikleri arasındaki korelasyon matrisi.

	Av	**CAI**	**d_{ort}**	**EQC**	**F**	**HGI**	**d50**
Av	1.00						
CAI	0.94	1.00					
d_{ort}	0.82	0.84	1.00				
EQC	0.93	0.93	0.82	1.00			
F	0.78	0.78	0.73	0.68	1.00		
HGI	-0.95	-0.92	-0.74	-0.89	-0.71	1.00	
d50	0.52	0.57	0.22	0.52	0.33	-0.75	1.00

CAI, F ve Av aşınma indeks yöntemlerine yönelik olarak literatürde yapılan çalışmalar (Yaralı 2005, Yaralı 2010, Dahl et al. 2012, Majeed and Abu Bakar 2016) incelendiğinde, güçlü istatistiksel ilişkilerin olduğu görülmektedir. Yaralı vd. (2018), 9 farklı kayaç türü üzerinde, Cerchar aşınma indeksi, Schimazek aşınma indeksi ve Aşınma değerleri arasındaki ilişkiyi incelemişler ve CAI – F, F – Av ve CAI – Av arasında sırasıyla R^2=0.83, 0.97 ve 0.87'lik güçlü doğrusal ilişkiler ortaya koymuşlar ve performans analizlerinde her üç yöntemin de kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Dolayısıyla, bir kazı projesi düşünüldüğünde, kayaçların aşınma davranışlarının belirlenmesinde farklı aşınma deney yöntemlerinin kullanılabileceği açıktır.

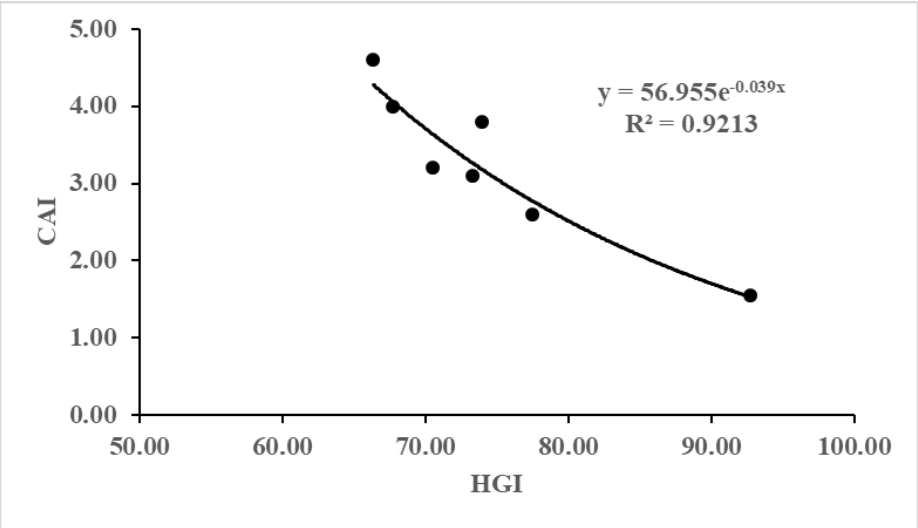
Bu çalışmada, 7 magmatik kökenli andezit kayacına ait aşınma indeks değerleri ile HGI değerleri arasındaki ilişkiler basit regresyon analizleri ile incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 6-8'de sunulmuştur. Buna göre, CAI ve Av ile HGI arasında sırasıyla R^2=0.92 ve 0.91 olan çok güçlü üssel regresyon değerleri belirlenmiştir. F ile HGI arasında ise, R^2=0.61 olan üssel ve nispeten daha düşük bir ilişki değeri elde edilmiştir. CAI, Av ve F'nin HGI ile tahminine yönelik geliştirilen yaklaşımlar Eşitlik 4-6'da verilmiştir.

$$CAI = 56.955e^{-0.039HGI} \quad (4)$$

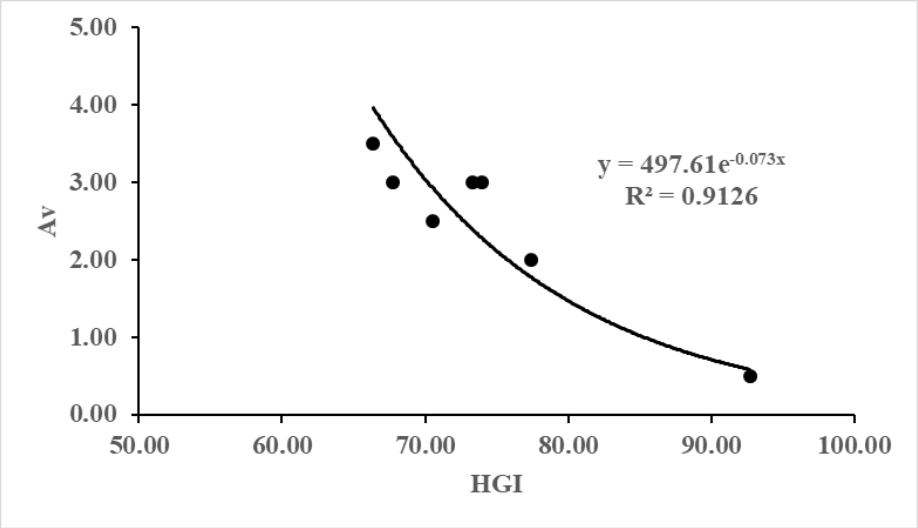
$$Av = 497.61e^{-0.073HGI} \quad (5)$$

$$CAI = 146.98e^{-0.061HGI} \quad (6)$$

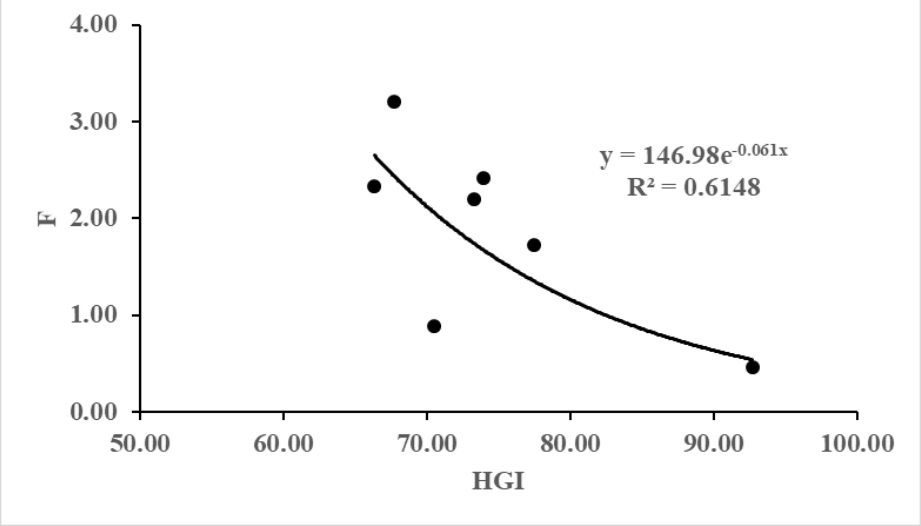
Çalışma kapsamında ayrıca, öğütülmüş malzemeler üzerinde gerçekleştirilen tane boyut analizlerinden elde edilen d50 değerleri ile farklı aşınma indeks yöntemleri arasındaki ilişki incelenmiş ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki elde edilememiştir (Şekil 9). Ancak, doğrusal regresyon analizlerindeki genel eğilim, tane boyutundaki artışa bağlı olarak aşınma değerlerinin arttığını göstermektedir. Benzer bir durum, Majeed ve Abu Bakar (2019) tarafından yapılan çalışmada da ortaya konmuş ve tane boyutu azaldıkça aşınmanın da dereceli olarak azaldığı ifade edilmiştir.



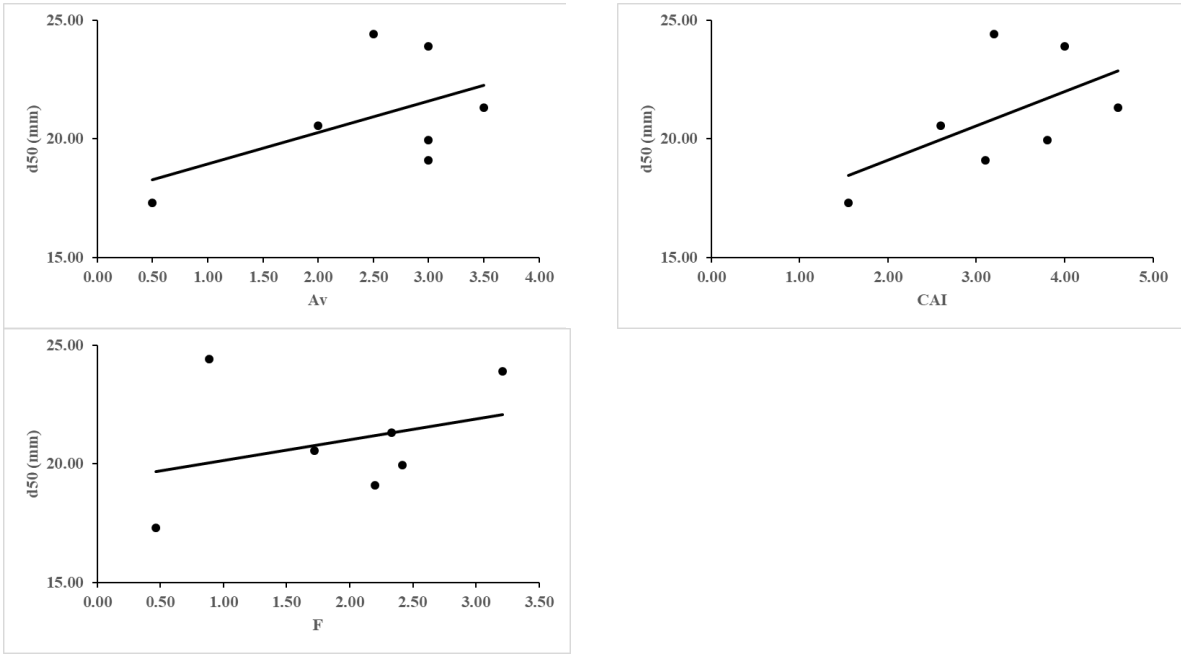
Şekil 6 CAI-HGI arasındaki ilişkisi.



Şekil 7 Av-HGI arasındaki ilişkisi.



Şekil 8 F-HGI arasındaki ilişkisi.



Şekil 9 Aşınma indeks değerleri ile d50 (öğütülmüş malzemenin %50'sinin geçtiği boyut) arasındaki ilişki.

Konu ile ilgili çalışan araştırmacılar, aşınma gibi önemli kayaç özelliklerini pratik ve kolay yoldan tahmin etme arzusundadırlar. Bu çalışma, yaygın olarak kullanılan üç farklı aşınma deney yöntemi dikkate alındığında, kayacın aşınma özelliğinin, HGI ile kolayca belirlenebileceğini ortaya koymaktadır. Ancak, kayaç aşındırıcılığının HGI'ya bağlı olarak belirlenmesi amacıyla geliştirilen tahmin modelleri, incelenen kayaçların aşınma değer aralıkları ile sınırlıdır. Daha güvenilir tahmin modelleri geliştirmek için irdelenen kayaç sayısı arttırılmalı ve farklı kayaç kökenleri de göz önünde bulundurulmalıdır.

5 SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında, HGI'nın kayaç aşındırıcılığının tahmininde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- HGI ile Av ve CAI arasında oldukça güçlü ilişkiler belirlenirken, Schimazek F indeksi ile nispeten daha düşük bir ilişki belirmiştir. Elde edilen bulgulara dayanarak geliştirilen regresyon analizlerinde, Av, CAI ve F ile HGI arasında sırasıyla R^2=0.92, 0.91 ve 0.61 olan üssel ilişkilerin olduğu ortaya konmuştur.
- Tane boyut analizi sonuçlarından elde edilen d50 değerleri ile üç farklı aşınma indeks yönteminden elde edilen değerler arasında istatiksel olarak anlamlı bir ilişki belirlenememiştir. Ancak çizilen regresyon grafiklerinde genel eğilim, tane boyundaki artışa bağlı olarak aşınma değerlerinin de göreceli olarak arttığını göstermektedir.
- Kayaçların aşındırıcılığının doğru ve pratik deney yöntemleri ile belirlenmesi oldukça önemlidir. Çalışma kapsamında incelenen kayaç sayısı ve kökeni sınırlıdır. Bu nedenle, bu çalışma, daha güvenilir bilimsel bir genelleme için farklı kayaç kökenleri de ilave edilerek geliştirilmelidir.

TEŞEKKÜR

Yazar, 104M437 projesi için TÜBİTAK'a, değerli yorum ve önerileri için Prof. Dr. Olgay Yaralı'ya teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR

Abdelhaffez, G. S., (2012) Correlation Between Bond Work Index and Mechanical Properties of Some Saudi Ores, 40(1), 271–280.

Abu Bakar, M.Z., Majeed, Y., Rostami, J (2016) Effects of Rock Water Content on CERCHAR Abrasivity Index, Wear, 368-369,132–145.

ASTM, (1993) Standard Test Method for the Hardgrove Grindability Index (HGI) of Petroleum Coke, Des. D5003 − 19.

Bruland, A., (2000) Hard Rock Tunnel Boring. PhD. Dissertation, Vol. 3, Advance rate and cutter wear, Norwegian University of Sciences and Technology of Trondheim (NTNU), Report No. 1B-98

Dahl, F., (2003) DRI, BWI, CLI standards, NTNU, 20.

Dahl, F., Bruland, A., Jakobsen, P.D., Nilsen, B., Grøv, E., (2012) Classification of Properties Influencing the Drillability of rocks, Based on the NTNU/SINTEF Test Method. Tunn Undergr Space Technol 28: 150–158.

Ersoy, A. and Waller, M.D. (1995) Textural Characterisation of Rocks. Engineering Geology 39:123-136.

Garzon-Roca, J., Torrijo, F.J., Alonso-Pandavenes, O., Alija, S., (2020) Cerchar Abrasivity Index Estimation of Andesitic Rocks in Ecuador from Petrographical Properties Using Artificial Neural Networks. 20(5):04020036.

ISRM, (2007) The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization,Testing and Monitoring: 1974–2006.

ISRM, (2014) The Complete ISRM Suggested Methods for Rock Characterization,Testing and Monitoring: 2007–2014.

Kahraman, S., Fener, M., Käsling, H., Thuro, K. (2016) The Influences of Textural Parameters of Grains on the LCPC Abrasivity of Coarsegrained Igneous Rocks. Tunn Undergr Space Technol 58:216–223.

Majeed, Y., Abu Bakar, M.Z., (2016) Statistical Evaluation of CERCHAR Abrasivity Index (CAI) Measurement Methods and Dependence on Petrographic and Mechanical Properties of Selected Rocks of Pakistan. Bull Eng Geol Environ 75(3):1341–1360.

Majeed, Y., Abu Bakar, M.Z., (2019) Effects of Variation in the Particle Size of the Rock Abrasion Powder and Standard Rotational Speed on the NTNU/SINTEF Abrasion Value Steel Test. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 78:1537–1554

Schimazek, J., Knatz, H., (1970) Der Einfluss des Gesteinsa Ufbaus auf die Schnittgeschwindigkeit und den Meisse Dverschleis von Strecken Vortriebsmaschinen. Glückauf, 106, 274 – 278.

Swain, R., and Rao, R. B., (2009) Alternative Approaches for Determination of Bond Work Index on Soft and Friable Partially Laterised Khondalite Rocks of Bauxite Mine Waste Materials, J. Miner. Mater. Charact. Eng., 8(9), 729–743.

Tamrock, (1999) Handbook of Underground Drilling.

Yaralı, O., (2010) Zonguldak Bölgesi Kayaçlarının Aşındırıcılık Özelliklerinin Belirlenmesi. Türkiye 17. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, 203- 215.

Yaralı, O., (2005) Zonguldak Taşkömür Havzası Kömür Çevre Kayaçlarının Aşındırıcılık Özelliklerinin Araştırılması. Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabı, 9-12 Haziran, İzmir, s.243- 251.

Yaralı, O., Akçin, N. A., Bacak, G., Su, O. (2008) Mekanik Kazıda Kayaçların Petrografik Özellikleri ile Delinebilirlik ve Aşındırıcılık Özellikleri Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi Proje No : 104M437, TUBİTAK Araştırma Projesi Sonuç Raporu, 104M437, Zo., 140.

Yaralı, O., Aydın, H., Sakız, U., Duru, H., Bulut, S., (2018) Kayaçların Aşındırıcılıklarının Üç Farklı Deney Yöntemiyle Değerlendirilmesi, Madencilik, 5(1):45-56.

Ziaei, J., Ghadernejad, S., Jafarpour, A., Mikeail, R., (2020) A Modified Schimazek's F-abrasiveness Factor for Evaluating Abrasiveness of Andesite Rocks in Rock Sawing Process. 11(2):563-575.

Investigating the Poverty Rates in Turkey with the Geographically Weighted Regression model

Tuba KOÇ*[1,a]
[1]*Çankırı Karatekin University, Faculty of Science, Department of Statistics, 18100, Çankırı*

Abstarct
Poverty is one of many complex problems in developing countries. It may occur for different reasons from country to country or from geography to geography. In this study, the factors affecting poverty rate that the socio-economics variables were analyzed with multiple regression and geographic weighted regression models. The data that used in this study were obtained from Turkish Statistical Institute (TUIK) for the year of 2019. Geographic weighted regression model was determined whether the location of the provinces has an effect on poverty rates. When the results are examined, it is seen that the poverty rate is affected by different factors depending on the locations of the provinces. In addition, maps are used to present the poverty rate and coefficient estimates in Turkey.

Keywords: Geographically Weighted Regression, Multiple Linear Regression, Poverty Rate, TUIK.

Coğrafi Ağırlıklı Regresyon Modeli ile Türkiye'deki Yoksulluk Oranlarının İncelenmesi

Öz
Yoksulluk, gelişmekte olan ülkelerdeki birçok karmaşık sorundan biridir.Yoksulluk sorunu ülkeden ülkeye veya coğrafyadan coğrafyaya farklı nedenlerle ortaya çıkabilir. Bu çalışmada, sosyo-ekonomik değişkenlerin yoksulluk oranını etkileyen faktörler çoklu regresyon modeli ve coğrafi ağırlıklı regresyon modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler 2019 yılı Türkiye İstatistik Kurumu'ndan (TÜİK) elde edilen verilerdir. Coğrafi ağırlıklı regresyon modeli ile illerin konumlarının yoksulluk oranları üzerine etkisi olup olmadığı belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde illerin yerleşim yerlerine göre yoksulluk oranının farklı faktörlerden etkilendiği görülmektedir. Ayrıca, Türkiye'deki yoksulluk oranı ve katsayı tahminlerini görselleştirmek için haritalar kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Coğrafi Ağırlıklı Regresyon, Çoklu Doğrusal Regresyon, TUIK, Yoksulluk Oranı.

1. Introduction

Poverty, which is a global problem, emerges as a concept that is difficult to define and determine its limits. Poverty can be defined as the status of the person whose social welfare level is below the absolute or relative minimum level of the society's living standard (TÜSİAD, 2000). The concept of poverty, which is based on many factors such as the economic development levels of the countries, the dimensions of income inequality, labor markets, family structures, and education levels, has become an important problem in developing countries. This problem, as a multidimensional concept, is at the forefront not only in the economic field but also with its social, political and cultural dimensions (Sapancalı, 2001).

Although there are many policies implemented by countries to reduce poverty, the problem of poverty still maintains its importance. Therefore, the contribution of studies on poverty to the literature is very important. Abuzaid (2016) used the geographic weighted regression (GWR) method to estimate the poverty rate in 16 provinces of Palestine. Yakar (2013) analyzed the relationship between socio-economic development and net migration in provinces of Turkey via GWR method. Parolin and Wimer (2020) estimated USA poverty rates in the Covid-19 pandemic using the Supplemental Poverty Measure method.

Nguyen et al. (2020) examined the impact of economic growth and urbanization on poverty reduction in Vietnam using fixed-effect and random-effect logistic regression models. Anavatan (2020) also examined income inequality in the USA with geographic weighted regression and multi-scale geographic weighted regression models. He et al. (2021) analyzed the impact of physical geographic factors on poverty in Sichuan Province of China using GWR models.

Geographical units (countries, regions, provinces, etc.) differ from each other in terms of economic, social and other factors. Due to this difference, the relationship between economic variables may differ from geography to geography. In this study, multiple linear regression model was used to determine the factors affecting the poverty rate. In addition, with the GWR model, it has been examined whether locations have an effect on determining the factors affecting poverty rates. The paper is divided as follows: In section 2, multiple regression and Geographically Weighted Regression models are defined. In section 3 explains the application of regression models with poverty data for provinces of Turkey. Finally, a brief discussion is given in Section 4.

2. Material and Methods

2.1. Multiple Regression Model

Multiple regression analysis expresses the regression model in which one dependent variable and more than one independent variable are included. Multiple linear regression model is summarized by:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{k} \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad i = 1,2,\dots,n \tag{1}$$

Where y is dependent variable, β_0 is intercept, β_j is the coefficient of the jth independent variable, x_{ij} is the jth independent variable and ε_i is the error of ith location which is assumed to be independent and identically distributed normal random variable with mean zero and constant variance σ^2.

The least square estimation of β is given by $\hat{\beta} = (X'X)^{-1}X'Y$.

2.2. Geographically Weighted Regression Model

The GWR method is a local spatial regression technique used to model varying relationships in geography (Fotheringham et al., 2003). GWR is based on the multiple linear regression model. Unlike the linear regression model, the coefficients in the GWR model are not constant. The coefficients of each spatial point are created (Lu et al. 2018). The GWR model is given by

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^{m} \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad i = 1,2,\dots,n \tag{2}$$

In equation (2), (u_i, v_i) is the latitude and longitude coordinates of the location in space ith, y_i is dependent variable, $x_i(k = 1,2,\dots,m)$ is independent variable, β_k is the coefficient of GWR regression model and ε_i is the error of ith location which is assumed to be independent and identically distributed normal random variable with mean zero and constant variance σ^2.

The weighted least square methods provide a basis of estimating the GWR parameters. Parameters estimation of the GWR model are obtained as follows

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = [X^T W(u_i, v_i) X]^{-1} X^T W(u_i, v_i) Y \tag{3}$$

Where X is the matrix of independent variables and consists of m+1 column, $Y = (Y_1.Y_2,\dots,Y_n)^T$ is the dependent variable matrix and $W(i)$ is a diagonal matrix of w_{ij} values and is as shown in Equation 4 (Fotheringham et al., 2003).

$$W(i) = \begin{bmatrix} w_{i1} & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & w_{in} \end{bmatrix}$$

w_{ij} is the neighborhood ratio between the regression point and the reference point. w_{ij} is calculated using the Global Model, Box-Car, Exponential, Gaussian, Bi-Square and Tri-Cube (Gollini et al. 2013). The Gaussian function is commonly used with the Gaussian kernel function, w_{ij} is calculated as in equation 4.

$$w_{ij} = exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{d_{ij}}{bw}\right)^2\right] \tag{4}$$

Where bw is bandwidth value, d_{ij} is the distance between the regression point i and the reference point j. d_{ij} is usually the Euclidean distance and is calculated as shown in equation 5, where u and v are point coordinates.

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \tag{5}$$

The value of the bw bandwidth parameter can be constant for a whole model in the GWR model or it can be variable according to the point density in the location. The optimal value of bandwidth can be determined by Cross validation (CV), Generalized cross validation (GCV), Akaike Information Criteria (AIC), Bayesian Information Criteria (BIC) methods (Taşyürek and Çelik,2020). In this study, the optimal bandwidth value is determined by obtaining the minimum value of the cross validation criterion given below (Bowman, 1984).

$$CV = \sum_{i=1}^{n} (y_i - \hat{y}_{\neq i}(bw))^2$$

Where $\hat{y}_{\neq i}(bw)$ is the fitted value of y_i by omitting the ith point from the process (Fotheringham et al., 2003).

3. Application

In this study, poverty rate data were used for Turkey's 81 provinces in 2019. The data obtained is available URL1. A set of 8 continues variables are used in this paper and described as, dependent variable(Y): poverty rate, independent variables: population of province(x1), crude marriage rate (%)(x2), gross domestic product (GDP-per city)(x3),unemployment rate (% of GDP)(x4), crude birth rate (%)(x5), immigrants and emigrants by provinces(x6) and mean age at first marriage for female(x7).

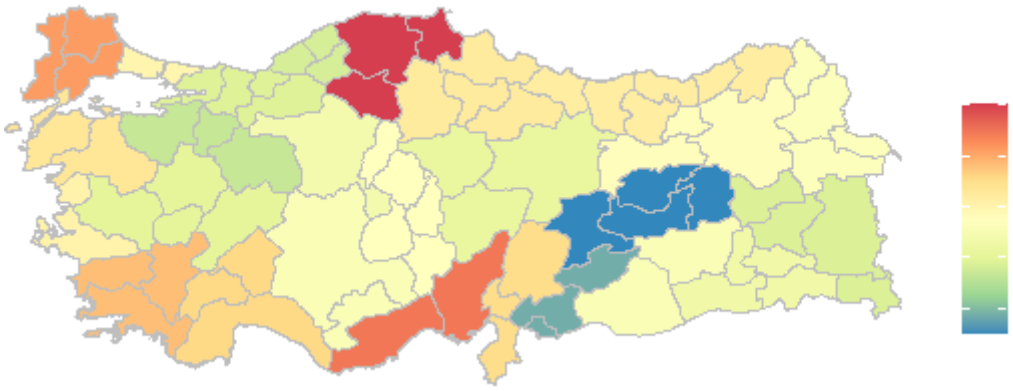


Figure 1. Distribution of poverty rate in Turkey for 2019

The places where the effect is darkest, i.e. the highest value coefficients, are shown in red. Less effect are shown in lighter colors. In other words, the blue-colored provinces are the provinces with the least impact. The lowest poverty rates are in the Malatya-Elazig-Bingöl-Tunceli region.

Firstly factors affecting poverty rates in Turkey are modeled with multiple regression method. Furthermore, the GWR model is used to determine whether there is effect of locations. R software's 3.5.2 version was used to analyze the data. "spgwr" package was used to determine whether effect of location have an effect on factors affecting poverty rates.

Table 1. Coefficients for the multiple regression models

Coefficient	Estimate	Std. Error	t value	Pr(>|t|)
(Intercept)	3.802e+01	9.054e+00	4.199	**7.48e-05**
x1	2.921e-08	1.362e-07	0.214	0.83084
x2	-7.274e-01	4.961e-01	-1.466	0.14689
x3	2.294e-05	1.401e-04	0.164	0.87038
x4	-2.603e-02	6.272e-02	-0.415	0.67930
x5	-1.705e-01	7.302e-02	-2.335	**0.02230**
x6	1.489e-05	1.540e-05	0.967	**0.03366**
x7	-8.429e-01	3.119e-01	-2.702	**0.00856**

Table 1 shows the coefficients of multiple regression models. According to the multiple regression model; crude birth rate, immigrants and emigrants and mean age at first marriage for female significant effect on poverty rates. Besides that the variable immigrants and emigrants affect the poverty rate positively, the variables crude birth rate and mean age at first marriage female negatively on poverty rate.

Testing the goodness-of-fit of the GWR model is important for experimental analysis. This test is called the global test of nonstationarity (Fotheringham et al, 2003).

Table 2. Analysis of variance for goodness of fit of GWR model.

Source	df	Sum Sq	Mean Sq	F	p-value
OLS Residual	4	1792.12			
GWR Improvement	15.078	552.72	36.658	1.8315	0.009028
GWR Residuals	61.992	1239.40	20.015		

In Table 2, since the null hypothesis is rejected according to the non-stationary global test result, the GWR model fits the poverty data. GWR model are established with the value of CV criterion= 1850.327 and the bandwidth 5.61 with the variables found to be significant in the multiple regression model.

Table 3. Parameter estimates of the GWR model

Province	β_5	β_6	β_7
Adana	-0.0147	-0.0001	-13.923
Adıyaman	**0.0207**	-0.0001	**0.5624**
Afyonkarahisar	-0.3903	-0.0002	-13.499
Ağrı	-0.0448	-0.0007	-0.2505
Aksaray	-0.1916	-0.0001	-16.983
Amasya	**0.4374**	-0.0002	-0.0879
Ankara	-0.1084	**0.0002**	-0.3711
Antalya	-0.7067	**0.0004**	-19.426
Ardahan	-0.0163	-0.0007	-0.4913

Artvin	**0.0810**	-0.0007	-0.1265
Aydın	-0.1825	-0.0001	-21.814
Balıkesir	-0.1075	-0.0004	-26.538
Bartın	-0.0337	-0.0001	**0.5393**
Batman	-0.1339	-0.0004	**0.2266**
Bayburt	0.1781	-0.0006	**0.6175**
Bilecik	-0.3321	-0.0002	-11.222
Bingöl	**0.0378**	-0.0005	**0.5092**
Bitlis	-0.0933	-0.0005	**0.0358**
Bolu	-0.2565	-0.0003	**0.0047**
Burdur	-0.5016	-0.0005	-23.420
Bursa	-0.2166	**0.0002**	-18.599
Çanakkale	-0.2299	-0.0001	-29.936
Çankırı	**0.1242**	-0.0004	-0.2994
Çorum	**0.3249**	-0.0001	-0.6004
Denizli	-0.2988	-0.0007	-23.100
Diyarbakır	-0.0956	-0.0004	**0.4517**
Düzce	-0.3193	-0.0001	-0.1087
Edirne	-0.2111	-0.0001	-31.841
Elazığ	**0.0733**	-0.0003	**0.7685**
Erzincan	**0.1792**	-0.0005	**0.7973**
Erzurum	**0.0884**	-0.0006	**0.3567**
Eskişehir	-0.3486	-0.0001	-0.8862
Gaziantep	**0.0142**	-0.0002	-0.0205
Giresun	**0.3587**	-0.0004	**0.8111**
Gümüşhane	**0.2384**	**0.0005**	**0.7490**
Hakkari	-0.2486	-0.0011	-0.7424

Hatay	**0.0174**	-0.0010	-14.536
Iğdır	-0.1109	-0.0009	-0.6454
Isparta	-0.5171	-0.0007	-20.247
İstanbul	-0.2056	**0.0001**	-17.456
İzmir	-0.1750	-0.0001	-23.538
Kahramanmaraş	**0.0967**	-0.0002	-0.0170
Karabük	-0.0036	-0.0003	**0.3894**
Karaman	-0.5008	-0.0001	-0.9296
Kars	-0.0437	-0.0007	-0.4865
Kastamonu	**0.2714**	-0.0001	**0.0279**
Kayseri	**0.1444**	-0.0001	-0.9484
Kırıkkale	-0.0330	-0.0001	-0.7564
Kırklareli	-0.1077	-0.0002	-27.529
Kırşehir	-0.0521	-0.0001	-15.299
Kilis	0.0011	-0.0003	-0.4059
Kocaeli	-0.3328	-0.0002	-10.526
Konya	-0.5377	-0.0001	-18.679
Kütahya	-0.3214	-0.0008	-14.141
Malatya	**0.0974**	-0.0002	**0.7387**
Manisa	-0.1431	-0.0001	-23.444
Mardin	-0.2123	-0.0004	**0.1705**
Mersin	-0.1469	**0.0002**	-0.7832
Muğla	-0.2886	-0.0001	-20.841
Muş	-0.0175	-0.0005	**0.2175**
Nevşehir	-0.0029	-0.0001	-17.253
Niğde	-0.0760	-0.0002	-15.082
Ordu	**0.4072**	-0.0003	**0.7840**

Osmaniye	**0.0701**	-0.0001	-10.227
Rize	**0.2004**	-0.0006	**0.4076**
Sakarya	-0.3597	-0.0007	-0.6496
Samsun	**0.5383**	-0.0002	**0.2259**
Siirt	-0.1486	-0.0005	-0.0011
Sinop	**0.5622**	-0.0001	-0.2211
Sivas	**0.3300**	-0.0001	**0.6203**
Şanlıurfa	-0.1156	-0.0001	**0.3562**
Şırnak	-0.2400	-0.0006	-0.3307
Tekirdağ	-0.0919	-0.0001	-27.980
Tokat	**0.4079**	-0.0002	**0.3876**
Trabzon	**0.2599**	-0.0006	**0.6200**
Tunceli	**0.1363**	-0.0004	**0.8009**
Uşak	-0.2717	-0.0007	-21.714
Van	-0.1370	-0.0008	-0.4155
Yalova	-0.2494	-0.0009	-15.995
Yozgat	**0.1822**	-0.0001	-0.9512
Zonguldak	-**0.2082**	-0.0002	**0.3817**

Table 3 presents estimates of the GWR parameters for each province in Turkey. This formula "abs (coefficient estimate)-2standart error" is used to calculate the values in Table 3. If this is greater than zero (i.e. the estimate is more than two standard errors away from zero), it is very unlikely that the true value is zero, i.e. it is statistically significantly (at nearly the 95% confidence level) (Dennet, 2014).

There are differences of significant variables in the provinces. Results show that crude birth rate is significant for 28 provinces; mean age at first marriage for female is significant for 27 province, while immigrants and emigrants is significant in only 6 provinces. In addition, three variables were found to be significant in the province of Gümüşhane.

Spatial distributions of the variables of crude birth rate, immigrants- emigrants and mean age at first marriage female are given in Figure 2, 3 and 4, respectively.

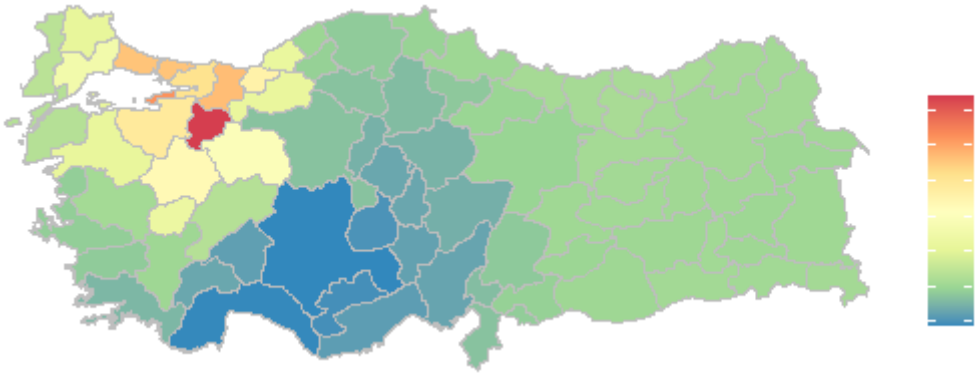


Figure 2. Spatial distribution of the crude birth rate variable

The variable of "crude birth rate" negatively affected the poverty rate. As the birth rate increases, the province where poverty is affected the least is Bilecik, which is shown in red on the map.

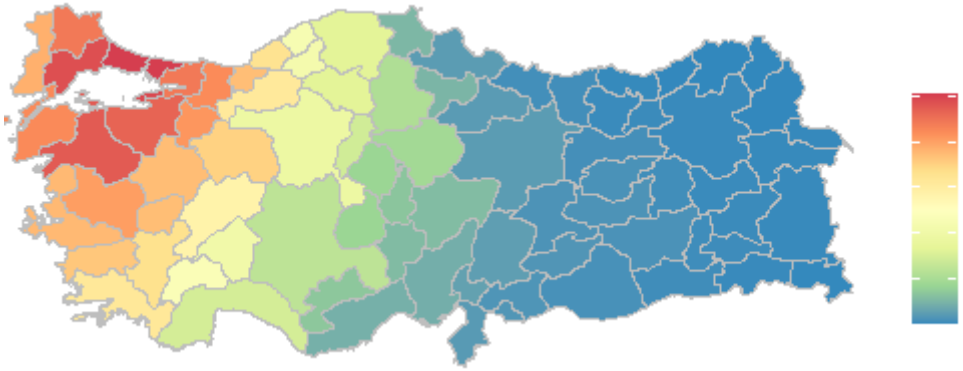


Figure 3. Spatial distribution of immigrants- emigrants variable

The poverty rates in Turkey's eastern region were less affected by the increase in immigrants-emigrants variable which is shown in blue on the map.

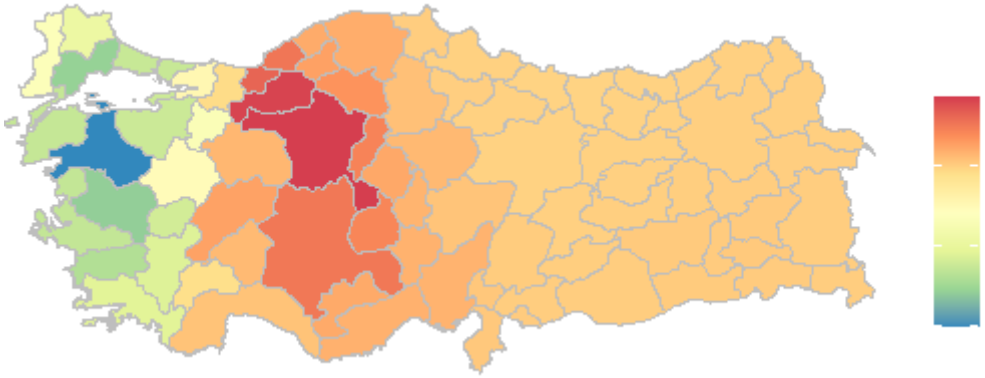


Figure 4. Spatial distribution of mean age at first marriage female variable

The variable of "mean age at first marriage for female" negatively affected the poverty rate. For this reason, as "the mean age at first marriage for female" variable increases, the province where the poverty rate decreased the most was found to be Bolu and Ankara, shown in red on the map.

4. Conclusion and Discussion

Poverty is one of many complex problems in developing countries. It can occur for different reasons from country to country or from geography to geography.

In this study, the factors affecting poverty that are related with poverty rate, population of province, crude marriage rate, gross domestic product, unemployment rate, crude birth rate, immigrants-emigrants by provinces and mean age at first marriage for female were analyzed with multiple regression model. Geographic Weighted Regression model was determined whether the location of the provinces has an effect on poverty rates.

The obtained results revealed that crude birth rate, immigrants -emigrants and mean age at first marriage for female are significantly related with poverty rates. Based on the multiple regression coefficients, we conclude that the increment of the immigrants - emigrants has a positive influence on the poverty. Besides that, crude birth rate and mean age at first marriage for female have a negative influence on the poverty. When the GWR model results are examined, it is seen that the poverty rate is affected by different factors depending on the location of the provinces. It is seen that the crude birth rate is important for 28 provinces, the average age at first marriage for women is important for 27 provinces, while immigrants and immigrants are important in only 6 provinces. In addition, three variables were found to be significant in the province of Gümüşhane. Using the GWR which considers the spatial change in the relationships between variables increased the reliability of the study results.

References

Abuzaid, A. H. (2016). Geographically Weighted Regression Analysis for Poverty inPalestinian Territories.

Anavatan, A. (2020). ABD'de gelir eşitsizliği: Çok ölçekli coğrafi ağırlıklı regresyon modeli yaklaşımı, Yıldırım Z. (Ed.), *Ekonometrik Modeller – 1,* (s.251), Basıldığı yer: Gazi kitapevi.

Bowman, A.W. (1984). An alternative method of cross-validation for the smoothing of density estimates. *Biometrika*, 71, 353 – 360. https://doi.org/10.1093/biomet/71.2.353.

Dennet A. (2014). An Introduction to Geographically Weighted Regression in R. https://rpubs.com/adam_dennett/44975

Fotheringham, A. S., Brunsdon, C., & Charlton, M. (2003). *Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons.

Gollini, I., Lu, B., Charlton, M., Brunsdon, C. and Harris, P. (2013). GWmodel: an R package for exploring spatial heterogeneity using geographically weighted models. arXiv preprint arXiv:1306.0413

He, X., Mai, X., & Shen, G. (2021). Poverty and Physical Geographic Factors: An Empirical Analysis of Sichuan Province Using the GWR Model. *Sustainability*, 13(1), 100. https://doi.org/10.3390/su13010100.

Lu, B., Yang, W., Ge, Y. and Harris, P. (2018). Improvements to the calibration of a geographically weighted regression with parameter-specific distance metrics and bandwidths. *Computers, Environment and Urban Systems*, 71, 41-57.

Nguyen, H. T. T., Nguyen, C. V. and Nguyen, C. V. (2020). The effect of economic growth and urbanization on poverty reduction in Vietnam. The Journal of Asian Finance, Economics, and Business, 7(7), 229-239, https://doi.org/10.13106/jafeb.2020.vol7.no7.229.

Parolin, Z. and Wimer, C. (2020). Forecasting estimates of poverty during the COVID-19 crisis. *Poverty and Social Policy Brief. New York, NY: Center on Poverty and Social Policy at the Columbia School of Social Work*, 4(6).

Sapancalı, F. (2001). Yeni Dünya Düzeni ve Küresel Yoksulluk. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi.* 3 (2). 115-140.

Taşyürek, M. and Çelik, M. (2020). Hava Sıcaklık Değerlerinin Coğrafi ve Rakım Ağırlıklı Regresyon Yöntemi ile Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 81-86,https://doi.org/10.31590/ejosat.779074.

TÜSİAD.(2000). Türkiye'de Bireysel Gelir Dağılımı ve Yoksulluk Avrupa Birliği ile Karşılaştırma, İstanbul.

Yakar, M. (2013). Türkiye'de iller arasi net göçlerle sosyo-ekonomik gelişmişlik arasindaki ilişkinin coğrafi ağirlikli regresyon ile analizi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 22(1), 27-44.

Comparing Quantile Regression and Quantile Random Forest Regression Models for Temperature Data

Pelin AKIN[1, a], Tuba KOÇ*[1, b]

[1]*Çankırı Karatekin University, Faculty of Science, Department of Statistics, 18100, Çankırı*

Abstract

Quantile regression is one of the alternative regression techniques developed to estimate the functional relationship between any quantile in the distribution of the dependent variable and independent variables. Classic random forests get average predictions from random trees. Modern machine learning algorithms are combined with quantities, and quantile regression forests model have been developed as an extension of random forests that provide nonparametric estimates of average predicted value and predicted quantities. In this study, we used quantile and quantile random forest methods to determine the factors affecting the monthly average temperature and predict for the Ankara region in 2010-2019. When the model performance criteria were examined, it was found that the best model was the quantile regression with the highest R^2 =0.98. According to the quantile regression results, it is the vapor pressure variable that has the greatest impact on the temperature. For the quantile random forest algorithm, the most important variable is vapor pressure for quantile 0.25 and 0.75, however, the most important variable is relative humidity for quantile 0.5. According to the findings of the study, it is seen that estimation results very close to the real values are obtained with the quantile regression model with 0.5 quantile for 2019 and 2020 years.

Keywords: Quantile Regression, Quantile Random Forest, Temperature.

Sıcaklık Verileri için Kantil Regresyon ve Kantil Rastgele Orman Regresyon Modellerinin Karşılaştırılması

Öz

Kantil regresyon, bağımlı değişkenin dağılımındaki herhangi bir kantil ile bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkinin tahmini için geliştirilmiş alternatif regresyon tekniklerinden biridir. Geleneksel rastgele ormanlar, rastgele ağaçlardan ortalama tahmini çıkarır. Modern makine öğrenimi algoritmaları, kantil kavramı ile birleştirilmiştir ve kantil regresyon ormanları, ortalama tahmin edilen değer ve tahmin edilen kantillerin parametrik olmayan tahminlerini sağlayan rastgele ormanların bir uzantısı olarak geliştirilmiştir. Bu çalışmada, 2010-2019 yıllarında Ankara bölgesi için aylık ortalama sıcaklığı etkileyen faktörleri belirlemek ve tahmin etmek için kantil regresyon ve kantil rasgele orman regresyon yöntemlerini kullandık. Model performans kriterleri incelendiğinde en iyi modelin en yüksek R^2 = 0,98 değeri ile kantil regresyon olduğu bulunmuştur. Kantil regresyon model sonuçlarına göre, sıcaklık üzerinde en büyük etkiye sahip olan değişken buhar basıncı değişkenidir. Kantil rasgele orman algoritması sonucunda en önemli değişkenler 0.25 ve 0.75 kartiller için buhar basıncı değişkeni bulunurken 0.50 kartil için nisbi nem değişkeni bulunmuştur. Çalışmanın bulgularına göre, kantil regresyon modeli 0.50 kartil için, 2019 ve 2020 yıllarına ait sıcaklık tahmin değerlerinin gerçek değerlere oldukça yakın olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kantil Regresyon, Kantil Rastgele Orman, Sıcaklık.

1. Introduction

Quantile regression first emerged as a robust regression technique that neglects the normal distribution of error terms from the classical assumptions in regression analysis (Chen and Wei, 2005). Quantile regression was developed to estimate the functional relationship between any quantile in the distribution of the dependent variable and independent variables (Tareghian & Rasmussen, 2013). While classical regression analysis construct a model for the conditional expected value of the dependent variable, quantile regression determines the mean of the conditional distribution function of the dependent variable for each quantile. Regression coefficients are obtained separately depending on the quantiles (Chen and Wei, 2005). Quantile regression is particularly useful when conditional quantiles vary. Different results are obtained in different quantiles in quantile regression. This situation can be interpreted as the conditional distribution of the dependent variable reacting differently to the changes in the independent variables at different points.

The Random Forest classification algorithm is a machine learning method based on decision trees (Breiman, 2001). RF is a community learning method for classification and regression, representing a significant advance in machine learning. Traditional random forests derive average estimates from random trees. Modern machine learning algorithms are united by the concept of quantity. Quantitative regression forests (QRF) developed by Meinshausen and Ridgeway (2006) are an extension of random forests that provide non-parametric estimates of the average predicted value and predicted quantities.

In recent years, researchers have successfully used quantitative regression techniques in various fields in the literature. Chen (2005) mentioned in his study that the Quantile Regression method is useful, especially in cases where extreme points are important, and showed as an example the situations in which air pollution in upper quantiles is critical in environmental studies in terms of public health. Barbosa et al. (2011) studied the changes in the average daily air temperature over Central Europe using the quantile regression model and clustering. Altındağ and Pehlivan (2013) examined the relationship between monthly air temperature and various meteorological effects using Quantile regression and quantile regression neural networks methods. Gao and Franzke (2017) conducted a spatiotemporal analysis of extreme temperature changes based on quantile regression at 352 meteorological stations in China during the period 1956-2013. Xu and Lin (2020) used the Quantile recession model to examine the main factors affecting CO2 emissions in heavy industry. They showed that the Quantile regression model obtained more robust estimation results compared to the least squares method. Vantas et al. (2020) estimated monthly and annual rainfall erosivity values for Greece using the Spatial Quantile Regression Forests method. Khan et al. (2021) used RF and QRF models to predict heat waves in Pakistan. As a result, QRF model showed superior performance than RF model in detecting heat waves.

In this study, the effects of wind speed, air pressure, relative humidity, vapor pressure and monthly maximum precipitation variables, which are thought to affect the temperature, on average air temperature were examined using Quantile Regression and Quantile Random Forest methods. Also, we compared the average monthly temperature predicts capabilities of the Quantile random forest and quantile regression models.

2. Material and Methods

2.1. Quantile Regression model

Quantitative regression model is one of the alternative regression techniques. Determine the model of the selected quantiles in the conditional distribution of the dependent variable. As in the classical regression model, it does not have any assumptions about the homogeneity of error variance and the distribution of errors. Therefore, it is a very flexible model (Chen and Wei, 2005).

Quantile regression model is given below

$$Y_t = \beta + e_t \quad (1)$$

Here, Y_t is an i.i.d. random variable with a β median with asymmetric distribution function F. θth sample quantities in this model obtains by the following equation (Judge et al. 1988).

$$\min_{\beta} \frac{1}{n}\{\sum_{i:y_i\geq\beta} \theta|y_i-\beta| + \sum_{i:y_i<\beta}(1-\theta)|y_i-\beta|\} \quad (2)$$

This linear regression model

$$y_i = x_i'\beta + e_i \quad (3)$$

θth depending on the signs of quantile regression observations, it is estimated as follows

$$\theta \min_{\beta} \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left\{\theta - \frac{1}{2} + \frac{1}{2}sgn(y_i - x_i'\beta)(y_i - x_i'\beta)\right\} \quad (4)$$

Where $sgn\ (\alpha)$ is the sign of α and takes the value 1 if α is positive, -1 if it is negative, or 0.

2.2. Quantile Random Forest Model

The ensemble learning algorithms produce a prediction model by combining the strong points of a group of simpler, a lot of basic models (Friedman and Sandow, 2011). The most widely used ensemble learning algorithms are bagging and Random Forest algorithms. Breiman's Random Forest classification is an improved version of the bagging technique achieved by adding the randomness feature. This method employs averaging to improve performance. Nicolai Meinshausen (2006) introduced the quantile, random forest model, by generalizing the random forest model. Quantile regression forests keep the value of all observations in this node, not just their mean, and assess the conditional distribution based on this information (Meinshausen, 2006). The conditional distribution function of Y, given X = x, is given by

$$F(y\backslash X = x) = P(Y \leq y\backslash X = x) = E(1_{\{Y\leq y\}}\backslash X = x) \quad (5)$$

which is an approximation to the equation by the weighted mean over the observation of $1_{\{Y\leq y\}}$.

$$\hat{F}(y\backslash X = x) = \sum_{i=1}^{n} w_i(x)1_{\{Y\leq y\}} \quad (6)$$

where $w_i(x)$ is the weighted vector.

3. Application

In this study, monthly average temperature data of Ankara central meteorology station between 2010 and 2019 were used. The data were obtained from the Turkish State Meteorological Service. A set of 6 continues variables are used in this paper and described as, dependent variable(Y): monthly mean temperature (0C), independent variables: wind speed(m/sec) (x1), air pressure (hPa) (x2) , relative humidity (%)(x3), vapor pressure (hPa)(x4), monthly maximum rainfall (mm)(x5). We separated the data set for the years 2010-2018 as training data and the years 2019-2020 as test data. Quantile random forest and quantile regression model was applied to train data to calculate monthly average temperature predicted values of test data. Analyzes were performed using Phyton software and quartiles of 25%, 50%, and 75% were used in the analysis. We compared the prediction capabilities of Quantile Random forest and Quantile regression models in test data. Performance measurements are given in Table 1.

Table 1. Performance measurement for models

Models	**R^2**	**MSE**	**MAE**
RF Quantile (0.25)	0.87	8.55	2.34
RF Quantile (0.5)	0.94	3.61	1.61
RF Quantile (0.75)	0.95	2.9	1.44
Reg Quantile (0.25)	0.98	1.34	0.92
Reg Quantile (0.5)	0.98	1.13	0.89
Reg Quantile (0.75)	0.98	1.22	0.95

The model with the highest R^2 value and lower error rates than, MSE and MAE show the best performance. In Table 1, the algorithm that gives the best performance in predicting test data is the quantile regression model with 0.5 quantiles. Table 2 shows the predicted values of the test data according to the models.

Table 2. Temperature prediction with models

Year	Month	RF Quantile (0.25)	RF Quantile (0.5)	RF Quantile (0.75)	Reg Quantile (0.25)	Reg Quantile (0.50)	Reg Quantile (0.75)	Actual
2019	January	3	3.2	3.3	1.03	1.63	2.15	2
2019	February	3.15	3.3	6.15	4.33	4.84	5.4	4.9
2019	March	6.4	8.3	8.7	7.53	8.03	8.55	7.1
2019	April	8.65	11.5	13.2	11.53	12.04	12.41	10.7
2019	May	17.89	19.3	19.85	18.06	18.52	18.78	18.1
2019	June	19.3	20.62	21.7	23.26	23.66	23.85	22.4
2019	July	21.6	24.32	25.3	21.63	21.96	22.3	23
2019	August	23.4	23.8	24.2	22.87	23.12	23.53	24.3
2019	September	13.3	18.2	21.6	19.49	19.78	20.21	20.4
2019	October	13.1	13.8	18.32	16.14	16.58	16.91	16.4
2019	November	8.3	8.5	9.1	10.27	10.87	11.15	10.3
2019	December	3.2	3.3	3.75	2.21	3	3.25	4.2
2020	January	-0.7	-0.3	0.2	2.02	2.67	3.09	1.4
2020	February	3.34	7.1	8.3	4.62	5.28	5.65	4.2
2020	March	8.3	8.5	11	9.33	9.83	10.27	9.3
2020	April	8.54	11.6	13.3	11.5	11.96	12.42	11.7
2020	May	13.1	14.6	19.2	15.22	15.85	16.01	17
2020	June	19.3	21.3	23.4	19.36	20.05	20.04	20.7
2020	July	25.05	25.3	25.6	24.95	25.15	25.57	25.9
2020	August	19.3	21.6	25.3	22.28	22.48	22.97	25.3
2020	September	19.35	20.85	22.6	21.66	21.95	22.33	23.4

2020	October	12.85	13.55	19.2	16.74	17.16	17.52	17.7
2020	November	7.52	8.3	8.51	7.67	8.22	8.64	6.8
2020	December	3.3	5.45	6.5	5.64	6.28	6.62	6

When Table 2 is examined, the closest estimates are obtained by quantile regression. For the quantile random forest model, the importance of variables according to each quantile is given in Figure 1.

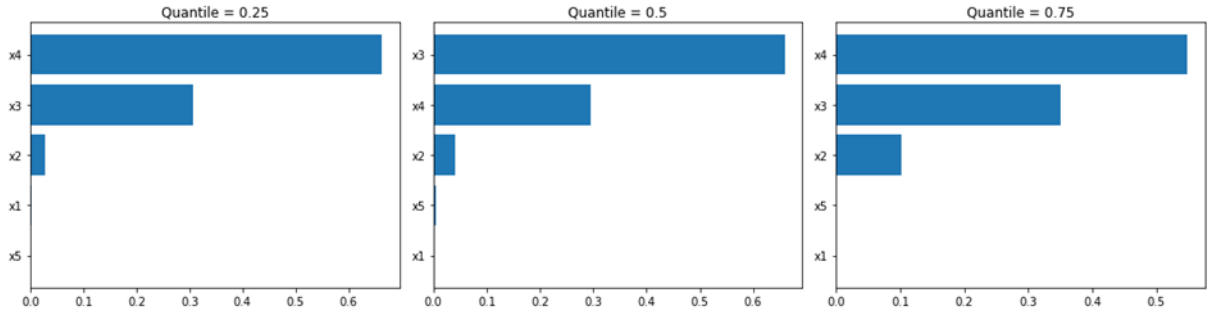


Figure 1. Quantile random forest feature importance bar chart

In Figure 1, it is seen that the most important variable used to determine the effect of temperature is vapor pressure for the quantile random forest. The order of importance of variables for the quantile regression model is as given in Figure2.

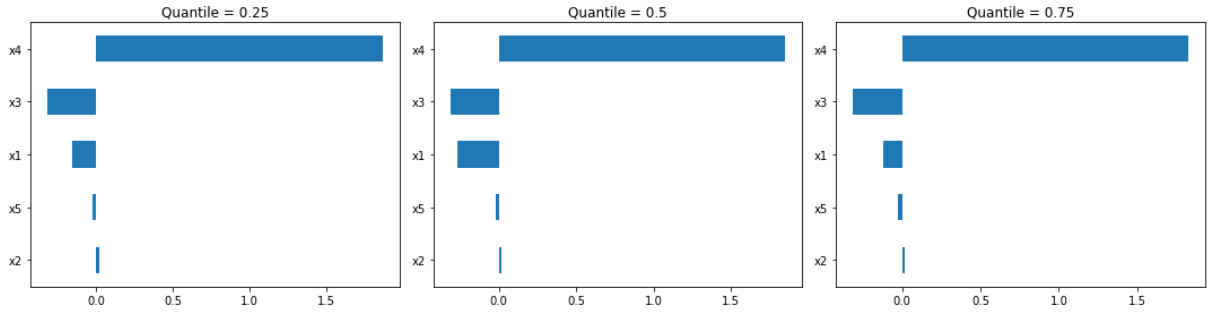


Figure 2. Quantile regression feature importance bar chart

In Figure 2, it is seen that the most important variable used to determine the effect of temperature is vapor pressure for the quantile regression model. Vapor pressure has a positive effect on temperature. However, relative humidity has a negative effect on temperature.

4. Conclusion and Discussion

Quantile regression is an alternative regression technique that overcomes some of the limitations of classical regression models. In this study, quantile regression and quantile random forest methods were applied to determine the effect of the monthly average air temperature and to make the predictions. When the model performance criteria were examined, it was found that the best model was the quantile regression with the highest R^2 =0.98. According to the quantile regression results, it is the vapor pressure variable that has the greatest impact on the temperature. For the quantile random forest algorithm, the most important variable is vapor pressure for quantile 0.25 and 0.75, however, the most important variable is relative humidity for quantile 0.5. According to the findings of the study, it is seen that estimation results very close to the real values are obtained with the quantile regression model with 0.5 quantile for

2019 to 2020. The highest temperature for Ankara is expected in June, July and August. The lowest temperatures are expected in December, January and February. In summary, for the quantile regression and quantile random forest algorithms, the highest R^2 values are respectively 0.98 and 0.95. It has been seen that these two models can be used to both estimate and determine the effective variables for periodic data sets.

References

Altindag, I., & Pehlivan, N. Y. (2013). Modelling the meteorological effects on air temperature for Konya city in Turkey: the approaches of quantile regression and quantile regression neural networks. *Journal of Selcuk University Natural and Applied Science*, 2(1), pp-28.

Barbosa, S. M., Scotto, M. G. and Alonso, A. M. (2011). Summarising changes in air temperature over Central Europe by quantile regression and clustering, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(12), 3227-3233, https://doi.org/10.5194/nhess-11-3227-2011.

Breiman, L. (2001). Random forests, *Machine learning*, 45(1), 5-32.

Chen, L. (2005). An introduction to quantile regression and the quantreg procedure, *Statistics and Data analysis*, pp. 213-230.

Chen, C. and Wei, Y. (2005). Computational issues for quantile regression, *Sankhyā: The Indian Journal of Statistics*, 399-417.

Gao, M. and Franzke, C. L. (2017). Quantile regression–based spatiotemporal analysis of extreme temperature change in China. *Journal of Climate*, 30(24), 9897-9914, https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0356.1.

Judge, G. G., Hill, R. C., Griffiths, W. E., Lütkepohl, H. and Lee, T. C. (1988). *Introduction to the Theory and Practice of Econometrics*, J. Wiley.

Khan, N., Shahid, S., Ismail, T. B. and Behlil, F. (2021). Prediction of heat waves over Pakistan using support vector machine algorithm in the context of climate change. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 1-19.

Meinshausen, N. and Ridgeway, G. (2006). Quantile regression forests, *Journal of Machine Learning Research*, 7(6).

Tareghian, R. and Rasmussen, P. F. (2013). Statistical downscaling of precipitation using quantile regression, *Journal of hydrology*, 487, 122-135, https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.02.029.

Xu, B. and Lin, B. (2020). Investigating drivers of CO2 emission in China's heavy industry: A quantile regression analysi, *Energy*, 206, 118159, https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118159.

Vantas, K., Sidiropoulos, E. and Loukas, A. (2020). Estimating current and future rainfall erosivity in Greece using regional climate models and spatial quantile regression forests, *Water*, 12(3), 687, https://doi.org/10.3390/w12030687.

Estimation of Future Flux, Relative Permeability and Capillary Pressure from Counter-Current Spontaneous Imbibition Data

Can POLAT
Izmir Katip Celebi University, Petroleum and Natural Gas Engineering Department, 35620, Izmir

Abstract

Relative permeability and capillary pressure are among the rock properties those of which are essential in reservoir engineering. Estimation of these properties from spontaneous imbibition tests has been gaining attention because of the simplicity of the related set-ups and in interest of saving time. The uniqueness of the estimation and future forecasting capability of the constructed model with these estimated parameters are other subjects to be considered apart from acquiring proper matches between experimental and analytical or numerical results. In this study, semi-analytical solution of the counter-current spontaneous validated with the arranged numerical solution was utilized for uniqueness and forecasting analysis. The degree of uniqueness of the estimation was tried to be figured out by means of implementing a methodology involving the application of global optimization (genetic) algorithm. The correlating parameters to be optimized were varied in each test. Uniqueness was achieved in case the optimized correlating parameter was an exponent. It was observed that the optimized model yielding nonuniqueness predicted the future influx adequately even though the estimated correlating parameters were notably different from the actual values. This fact is associated to accurate determination of fractional flow ratios in semi-analytical solution of counter-current spontaneous imbibition in spite of high deviation from the actual relative and capillary pressure values.

Keywords: Capillary Pressure Estimation, Counter-Current Imbibition, Flux Estimation, Global Optimization, Relative Permeability Estimation, Uniqueness

1. Introduction

Relative permeability can be measured applying either steady state or unsteady- state methods. Various methods such as porous plate, mercury injection, centrifuge method, dynamic method can be applied for the measurement of the capillary pressure. Each method has its advantageous and disadvantageous points. Various problems associated to relative permeability and capillary pressure measurements, such as capillary end effects, not ability to incorporate the entire water saturation range, requirement of excessive fluid, loginess, inconsistency between lab and reservoir conditions should be considered (Dandekar, 2013; Torsaeter and Abhati, 2000). Furthermore, it is more difficult to quantify these parameters in case the permeability of the sample is low (Jia et al., 2006). Additional methods for proper determination of these properties might be needed. In this regard, the solution of counter-current imbibition has been evaluated for estimation of the capillary pressure and relative permeability values. For instance, Alyafei and Blunt (2018), in their study, estimated the relative permeability and capillary pressure matching the results of semi-analytical solution of spontaneous imbibition with the experimental data. Haugen et al. (2014), in their study, assumed piston-like spontaneous imbibition and estimated the effective front capillary pressure and brine relative permeability based on this assumption. Li and Horne (2005), similarly, developed analytical solution based on the assumption of piston-like displacement for counter-current spontaneous imbibition and calculate global mobility ratio and capillary pressure utilizing this solution. Jia et al. (2006) utilized the solution presented by Li and Horne (2005) and assumed that the gas mobility is infinite to determine relative permeability to water from the experiment of water imbibition into gas saturated core samples. Arabjamaloei et al. (2015) figured out the relative permeability curve by history matching the results of the numerical simulation study with the results of the counter-current imbibition test. Alike, Zhang et al. (2019) obtained relative permeability and capillary pressure by matching the results of numerical simulation study with the results of imbibition experiments with different boundary

conditions. It is understood that highly specific assumptions were made to estimate these two parameters in most studies. The lack of examination of the uniqueness of the estimations is drawn attention for other cases. In this study, the degree of uniqueness of the estimation is tried to be figured out by means of a methodology involving the application of global optimization algorithm.

2. Semi-Analytical and Numerical Solutions

In spontaneous imbibition, as the name implies the wetting phase imbibes into rock matrix spontaneously and replace the matrix non-wetting phase with the help of capillary forces. Counter-current spontaneous imbibition is a special type and observed when only one side of the matrix face is open to flow. Water entry and oil exit occur simultaneously through this open side. In this study, the semi-analytical solution of counter-current spontaneous imbibition presented by McWhorter and Sunada (1990) was used to compute to total water influx and the location of the specified saturations. The solution is valid for incompressible, immiscible and unsteady two phase flow and horizontal porous one dimensional medium. Some other developed analytical solutions for counter-current spontaneous imbibition should be noted. However, they require specific assumptions for relative permeability and capillary pressure, such as linear behavior between saturation and capillary pressure (Schmid et al., 2016) and thus were not convenient for this study. The semi-analytical solution used in this study is valid for any combinations of relative permeability and capillary pressure.

For the semi-analytical solution, total water influx and location of the saturations are computed using Eq-1 and Eq-2, respectively.

$$Q_w(t) = \sqrt{2t\phi \int_{S_i}^{S_o} \frac{(S_w - S_i)D(S_w)}{F_w(S_w)} dS_w} \qquad (1)$$

$$x(S_w, t) = \frac{Q_w}{\phi}\left(\int_{S_w}^{S_o} \frac{D(\beta)}{F_w(\beta)} d\beta\right) \Big/ \left(\int_{S_i}^{S_o} \frac{(S_w - S_i)D(S_w)}{F_w(S_w)} dS_w\right) \qquad (2)$$

Iterative solution is required for the computation of the fractional flow ratio (F_w), as it is present on both sides of the related equation (Eq-3).

$$F_w(S_w) = 1 - \left(\int_{S_w}^{S_o} \frac{(\beta - S_w)D(\beta)}{F_w(\beta)} d\beta\right) \Big/ \left(\int_{S_i}^{S_o} \frac{(S_w - S_i)D(S_w)}{F_w(S_w)} dS_w\right) \quad (3)$$

Diffusivity denoted as $D(S_w)$ is calculated using Eq-4.

$$D(S_w) = -\frac{k_w k_{nw}}{k_w \mu_{nw} + k_{nw} \mu_w} \frac{dP_c}{dS_w} \qquad (4)$$

The numerical solution identical to the semi-analytical solution requires the computation of the following equations (Pruess et al., 1999). The pressures and saturations are taken as constants at the boundary where water entry and oil exit occur simultaneously. The other boundary is no-flow type.

$$\left(\frac{M_{\beta,n}^{t+1} - M_{\beta,n}^{t}}{\Delta t}\right) V_n = \sum_m A_{nm} F_{\beta,nm}^{t+1} \qquad (5)$$

F_β and M_β in Eq-5 are the flux and accumulation terms and calculated using Eq-6 and Eq-7, respectively

$$F_{\beta,nm} = -k_{nm}\left[\frac{k_{r\beta}}{\mu_\beta}\right]_{nm} \frac{P_{\beta,n} - P_{\beta,m}}{D_{nm}} \qquad (6)$$

$$M_\beta = \phi S_\beta \quad (7)$$

Primary variables are pressure and saturation. Note that these variables can belong to different phases. Pressure and saturation of the other phase is computed using Eq-8 and Eq-9, respectively.

$$P_{nw} = P_w + P_c(S_w) \qquad (8)$$

$$S_w + S_{nw} = 1 \qquad (9)$$

The following functional forms were used as correlations to compute relative permeability to oil and water and capillary pressure (Ahmed, 2006).

$$k_{ro} = (k_{ro})_{S_{wc}} \left[\frac{1-S_w-S_{orw}}{1-S_{wc}-S_{orw}}\right]^{n_o} \qquad (10)$$

$$k_{rw} = (k_{rw})_{S_{orw}} \left[\frac{S_w-S_{wc}}{1-S_{wc}-S_{orw}}\right]^{n_w} \qquad (11)$$

$$P_{cwo} = (P_c)_{S_{wc}} \left[\frac{1-S_w-S_{orw}}{1-S_{wc}-S_{orw}}\right]^{n_p} \qquad (12)$$

Figure 1 indicates the comparison of the outcomes of numerical and semi-analytical solutions at 0.4 hours. As can be seen from Fig.1, the results agree with each other.

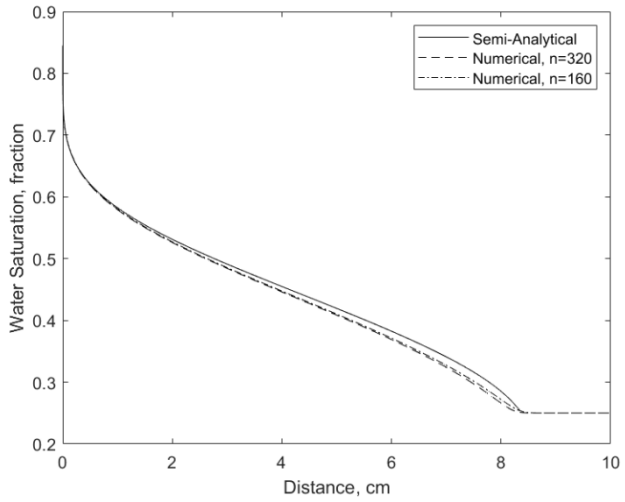


Figure 1. Comparison of the outcomes of numerical and semi-analytical solutions at 0.4 hours

3. Methodology

Determination of correlating parameters belonging to the formulations to predict the relative permeability and capillary pressure values from the measurements of the amount of water influx/produced oil as a result of spontaneous imbibition is actually an inverse problem. Based on the number of unknown correlating parameters, the solution of the inverse problem may not be unique. Nonuniqueness, in the circumstance, points out an ill-posed problem. Optimization algorithms can be tools to figure out the degree of uniqueness of the solution. Proper fitting is seen as a problem in case the model developed fitting the training data overpredicts the test data. In this study, proper fitting is observed to be valid in all trials of implementation of optimization algorithms to specify the correlating parameters. However, this does not create overprediction problem for the inverse problems in consideration. On the contrary, specific to the problem expressed in this study, the models with nonunique correlations provide highly accurate prediction of test (prospective) data.

Application of cross-validation method is a way to detect whether the formulated model will be reliable estimator or not. In this method, the data is partitioned into two groups, training data and test data. The model is improved to match the training data and its sufficiency in estimation is designated via the comparison with the test data (Matlab, 2020a). Failure in estimation may point out the nonuniqueness of the model. Actually, this case is not valid for the solution considered in this study. The solution becomes a reliable estimator once the results sufficiently match with the training data. Hence, another methodology was implemented to qualify the uniqueness of the correlating parameters to be determined. In this methodology, global optimization algorithm is implemented for several times on the purpose of diversifying the unknown correlating parameters. The result is accepted only if the computed normalized root mean square (between the actual and calculated water influx) is less than the minimum value specified for the criteria (**Figure 2**). The variation of the correlating parameters and the variation of capillary and relative permeability curves in relation to that provides clue about the uniqueness of the solution. The uniqueness of the solution is doubtful if there exists local minimums values which are highly close to the global minimum value. It is possible to reach different local minimums satisfying the criteria as commencement values alter in each iteration. In this sense, the result can be diversified. In this study, global optimization was preferred rather than local optimization to prevent stuck at large local minimums.

In this study, the genetic algorithm solver of MATLAB was used for global optimization purposes (Matlab, 2020b). The genetic algorithm method, in its traditional form, involves individuals (the values of the parameters to be optimized) represented with strings consisting of binary digits. Generation of new individuals exchanging the specified portions of the two selected corresponding strings yielding good results (crossover), preserving the fittest individuals, alteration of some binary digits in the selected strings (mutation) to search the places possibly beyond reach are basic processes specific to this method (Rao, 2009).

The solution is repeated many times during the application of the methodology. The semi-analytical solution was preferred to numerical solution in interest of saving time.

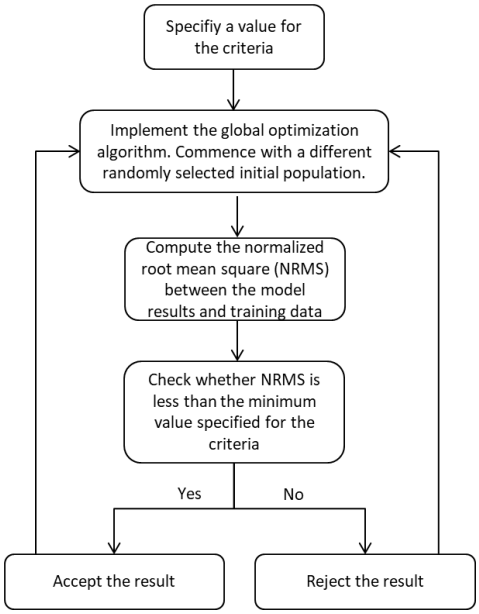


Figure 2. Methodology to qualify the uniqueness of the correlating parameters

4. Input Data

The rock properties of the considered sample are shown in **Table 1**. The corresponding relative permeability and capillary pressure curves are shown in **Figure 3** and **Figure 6** and named as actual. It is seen that the curves of relative permeability coincide at a water saturation greater than 0.5, the value of the relative permeability to water at residual oil saturation is very low (0.3). It is assumed that residual oil

saturation can be reached with zero capillary pressure. These facts indicate that the sample is strongly water-wet. The capillary pressure values were determined based on the J-functions of several formations presented in the book of Amyx et al. (1960). Conceivable values were specified for permeability and porosity. The type of the oil was assumed to be black oil and the viscosity of oil and brine was computed utilizing the corresponding correlations introduced in the book of Mccain (1990). **Table 2** lists the parameters required for computation of the oil viscosity.

Table 1 shows the actual rock properties. In the first part of the study, n_p and P_{cSwc} were taken as unknown correlating parameters and the degree of uniqueness of the capillary pressure curve was tried to be figured out. Subsequently, the degree of uniqueness of water and oil relative permeability curves were tried to be figured out in sequence by assuming the corresponding exponent and end point relative permeability were unknown correlating parameters. Following, only the exponents, (n_p, n_o and n_w) were taken as unknown in sequence. The related tables show the values of optimized parameters and the corresponding objective function values for each trial. **Table 3** shows the bounds of the correlating parameters.

Table 1. The rock and fluid properties of the sample

k (md)	**Φ (Fraction)**	**S_{wc} (Fraction)**	**S_{orw} (Fraction)**	**k_{roSwc}**	**μ_w (cp)**
5	0.1	0.24	0.15	0.84	0.350
n_o	**k_{rwSorw}**	**n_w**	**P_{cSwc} (psia)**	**n_p**	**μ_{nw} (cp)**
2.5	0.3	2	20	3	0.364

Table 2. The properties required for computation of the oil viscosity

T (°F)	**Rs (scf/STB)**	**Gas Specific Gravity**	**API gravity**
195	750	0.78	45

Table 3. The bounds of the correlating parameters

n_o	**n_w**	**n_p**	**k_{roSwc}**	**k_{rwSorw}**	**P_{cSwc} (psia)**
[1,5]	[1,5]	[1,6]	[0.5,0.98]	[0.2,0.6]	[5,100]

5. Results and Discussion

In the first part of the study, n_p and P_{cSwc} were taken as unknown correlating parameters and the degree of uniqueness of the capillary pressure curve was tried to be figured out (**Table 4**). Specific to the solution of counter-current spontaneous imbibition, at any location in the direction of flow, the absolute value of the phase fluxes are equal to each other whereas sign of the values are opposite. In other words, total volume flux is zero at any point in the flow direction. The magnitude of flux alters based on the ratio of effective permeability and the gradient of capillary pressure. As can be deducted from the relative permeability curves, the magnitude of relative permeability to wetting phase is very low at low wetting phase saturations. In conjunction with this observation, small increment in flux yields excessive pressure gradient alterations in the wetting phase at low wetting phase saturations despite the low alteration in non-wetting phase pressure gradient. Within this context, it can be stated that large capillary pressure alterations at low wetting phase saturations may bring insignificant changes in flux magnitude. The large variations of capillary pressure at low water saturations in **Figure 3** are related to this fact.

Table 4. Comparison of the actual and optimized n_p and P_{cSwc} and objective function values

	Actual	Trial-1	Trial-2	Trial-3	Trial-4
$\mathbf{P_{cSwc}}$	20	39.372	50.575	47.778	22.606
$\mathbf{n_p}$	3	5.06	5.864	5.678	3.372
Fo		1.72E-07	3.65E-07	1.15E-06	9.83E-08

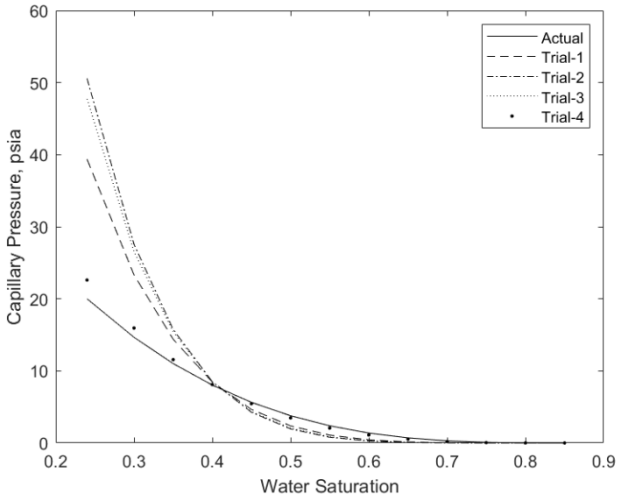


Figure 3. Comparison of actual capillary pressures with the results of different trials where n_p and P_{cSwc} were taken as unknown parameters and optimized

At low wetting phase saturations, the relative permeability to the wetting phase is the constitutive factor in specification of the flux magnitude. For the non-wetting phase, alteration of the relative permeability at low wetting phase saturations does not result in serious flux alterations because of the excessive relative permeability values. The target is to catch the behavior of capillary pressure with the specified fluxes. This can be achieved even if relative permeability to non-wetting phase is diversified considerably (**Figure 4 and Table 5**). Towards high wetting phase saturations, because of its low values, the relative permeability to the non-wetting phase becomes the constitutive factor in specification of the flux magnitude. The flux term is insensitive to relative permeability to wetting phase in this case (**Figure 5 and Table 6**). When both exponents on relative permeability to oil and water are optimized with the known end-point relative permeability, it is seen that the reduction in water relative permeability is compensated with the increase in oil relative permeability (**Figure 6 and Table 7**). Note that the decrease in water relative permeability water results in reduction in imbibition while increase in oil relative permeability lead to enhancement of the imbibition.

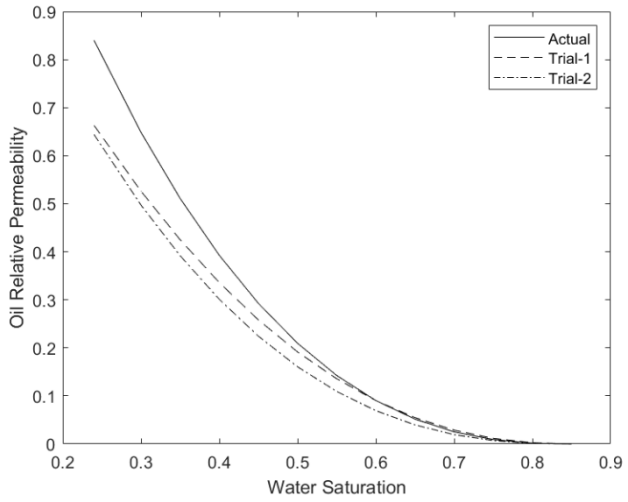


Figure 4. Comparison of actual oil relative permeability with the results of different trials where n_o and k_{roSwc} were taken as unknown parameters and optimized

Table 5. Comparison of the actual and optimized n_o and k_{roSwc} and the corresponding objective function values

	Actual	**Trial-1**	**Trial-2**
n_o	2.5	2.228	2.203
k_{roSwc}	0.84	0.663	0.644
Fo		8.74E-08	6.85E-06

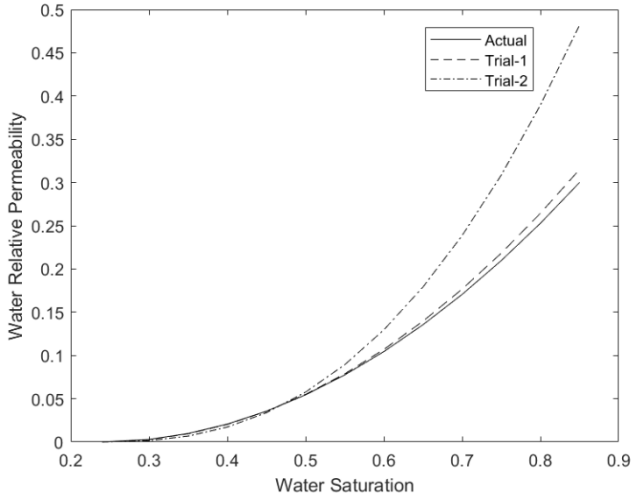


Figure 5. Comparison of actual water relative permeability with the results of different trials where n_w and k_{rwSorw} were taken as unknown parameters and optimized

Table 6. Comparison of the actual and optimized n_w and k_{rwSorw} and the corresponding objective function values

	Actual	**Trial-1**	**Trial-2**

n_w	2	2.048	2.491
k_{rwSorw}	0.3	0.315	0.482
Fo		4.33E-07	1.03E-06

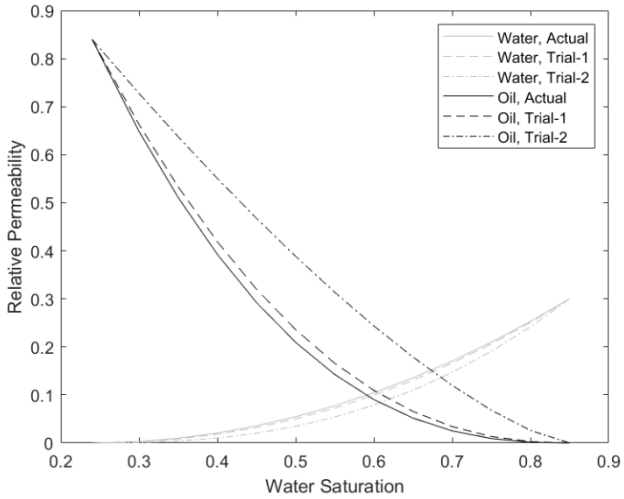


Figure 6. Comparison of actual relative permeability with the results of different trials where n_w and n_o were taken as unknown parameters and optimized

Table 7. Comparison of the actual and optimized n_o and n_w and the corresponding objective function values

	Actual	**Trial-1**	**Trial-2**
n_o	2.5	2.286	1.388
n_w	2	2.097	2.532
Fo		7.97E-08	6.65E-08

It is seen that multiple local minimum the value of which is very close to the value of global minimum exist in case the permeability and capillary pressure curves are tried to be specified with two unknown correlating parameters. In the circumstance, it is not apt to obtain unique curves. Uniqueness is achieved in case unknown correlating parameter is an exponent (n_w, n_o or n_p). **Table 8** illustrates this case. Same n_w, n_o and n_p values are obtained in different trials. **Figure 7** shows the objective function value with respect to the value of the exponents. As can be seen from **Figure 7**, there is only one minimum for each exponent. That explains the reason for obtaining the same exponent values in different trials. If the exponent is the only one unknown parameter, specification of this parameter applying the optimization algorithm yields unique capillary or relative permeability curves.

Table. 8. The values of the optimized exponents and the corresponding objective functions.

	n_o	**Fo**	**n_w**	**Fo**	**n_p**	**Fo**
Trial-1	2.5	3.59E-06	2	6.72E-06	3	1.01E-06
Trial-2	2.5	5.98E-06	2	5.86E-06	3	3.53E-06
Trial-3	2.5	3.10E-06	2	8.29E-06	3	5.51E-06

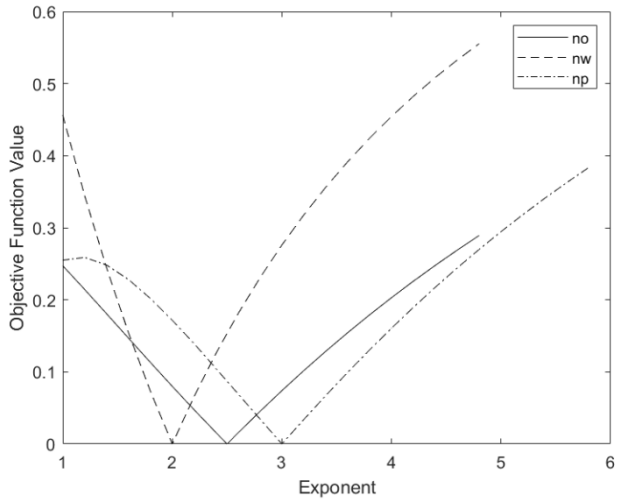


Figure 7. The objective function value with respect to the value of the exponents

Well-fitting is seen as a problem if the future forecasting by means of the decided model is not sufficiently accurate. Well-fitting was also observed for the total influx term associated to the counter-current spontaneous imbibition. However, the optimized model predicted future actual total influx adequately. To reveal this case explicitly, the number of unknown parameters was increased significantly. k_{roSwc}, k_{rwSorw}, P_{cSwc}, n_o, n_w and n_p were taken as parameters to be optimized. The resultant is shown in **Table 9**, **Figure 8 and Figure 9.** Note that relative and capillary pressure curves are highly deviated from the actual ones, which reveals that the results are not unique. Well-fitting is observed for 0.4 hours of imbibition (**Figure 10**). Those optimized parameters were used again to predict total water influx for a larger period of time (100 hours) to test the model for its ability for forecast the future accurately. It is seen that the results of the model matches well with actual ones for the time period of 100 hours (**Figure 11**). The optimized model yielding nonuniqueness predicted the future influx adequately even though the estimated correlating parameters were notably different from the actual values. This result is associated to accurate determination of fractional flow ratios (or diffusivity) in spite of high deviation from the actual relative and capillary pressure values. It should be noted that fractional flow ratios are not dependent on time. They are determined at first step before accounting the time for computation of total water influx and location of the specified saturations. This adequate estimation is valid for the considered imbibition which is driven by capillary forces. Deviation from actual relative and capillary pressure values is possibly problematic in case the other forces are effective in fluid displacement.

Table 9. The properties of the optimized model.

k (md)	**Φ (Fraction)**	**S_{wc} (Fraction)**	**S_{orw} (Fraction)**	**k_{roSwc}**	**μ_w (cp)**
5	0.1	0.24	0.15	0.521	0.350
n_o	**k_{rwSorw}**	**n_w**	**P_{cSwc} (psia)**	**n_p**	**μ_{nw} (cp)**
2.413	0.452	2.884	81.584	5.648	0.364

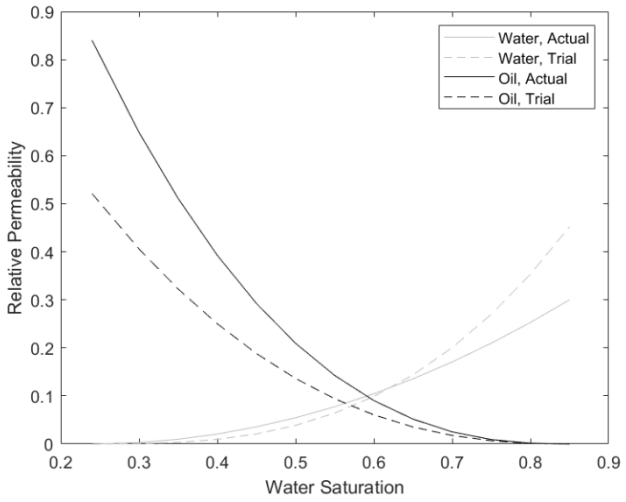


Figure 8. Comparison of actual oil and water relative permeability with the results of the trial where k_{roSwc}, k_{rwSorw}, P_{cSwc}, n_o, n_w and n_p were taken as unknown parameters and optimized

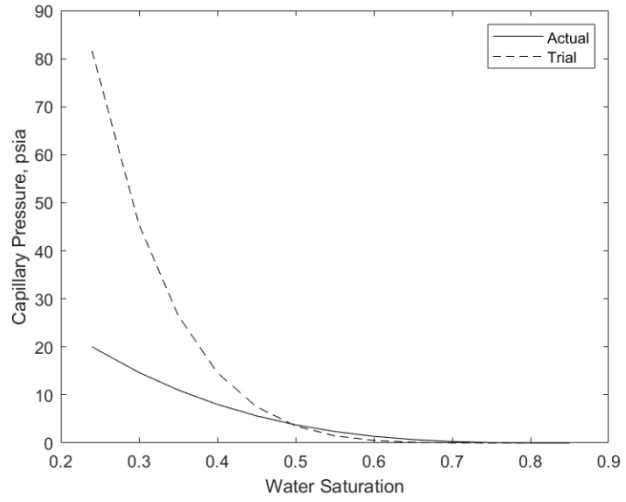


Figure 9. Comparison of actual capillary pressure with the results of the trial where k_{roSwc}, k_{rwSorw}, P_{cSwc}, n_o, n_w and n_p were taken as unknown parameters and optimized

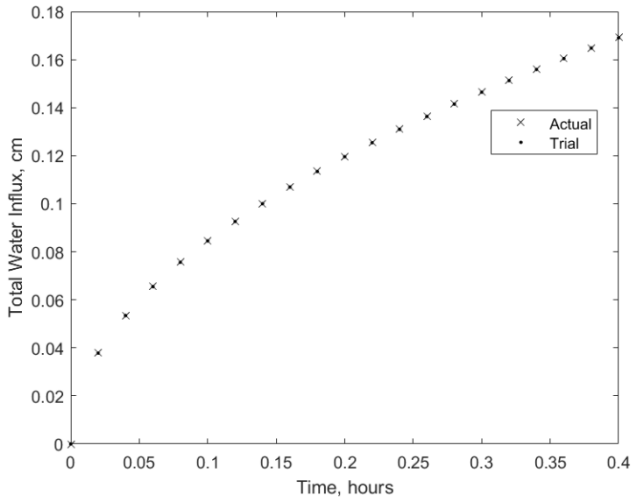


Figure 10. Comparison of actual total water influx with the corresponding results of the trial for 0.4 hours of imbibition.

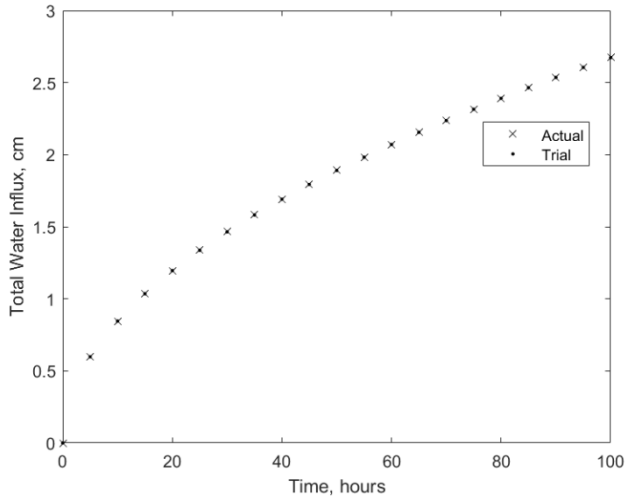


Figure 11. Comparison of actual total water influx with the corresponding results of the trial for 100 hours of imbibition.

6. Conclusions

Measurement of end relative permeability to one phase is somewhat easy to be made as the movement of the other phase ceases at the corresponding saturation. Apart from this, the exponent used on correlation is required to predict the behavior of relative permeability to the phase in consideration. This study reveals that this parameter can be adequately determined from the counter-current spontaneous imbibition test if the relative permeability to the other phase and capillary pressure values are also taken as known input data. The methodology proposed in this study can be utilized to check the accuracy of the relative permeability and capillary pressure measured by means of traditional methods. This study also reveals that the optimized model has the ability to predict the future influx adequately even though it yields well-fitting on the experimental data with the nonunique capillary pressure and relative permeability data, which is valid for the considered solution.

Acknowledgement

Author is thankful to his faculty for providing the academic version of the Matlab software.

Nomenclature

Roman

A_{nm} *area between blocks n and m*
D *diffusivity*
D_{nm} *distance between blocks n and m*
F_o *value of the objective function*
F_w *fractional flow ratio*
F_β *flux term for phase β*
k *permeability*
k_{nw} *effective permeability (ep) of the non-wetting phase/oil*
k_w *ep of the wetting phase/water*
k_{roSwc} *relative permeability (rp) to oil at connate water saturation*
k_{rnw} *rp of the non-wetting phase/oil*
k_{rwSorw} *rp to oil at the residual oil saturation*
k_{rw} *rp of the wetting phase/water*
kr_β *rp of phase β*
M_β *accumulation term for phase β*
n_o *exponent on rp to oil*
n_p *exponent on cp curve*
n_w *exponent on rp to water*
P *pressure*
P_c *capillary pressure (cp)*
P_{cSwc} *cp at connate water saturation*
Q_w *accumulated water amount, total water influx*
S_i *initial water saturation (ws)*
S_m *maximum achievable ws*
S_o *ws at the fracture face*
S_{orw} *residual oil saturation*
S_w *water saturation*
S_{wc} *connate ws*
S_β *saturation of phase β*
t *time*
V_n *volume of block n*
x *location of the saturation*

Greek

μ_w *viscosity of the wetting phase/water*
μ_{nw} *viscosity of the non-wetting phase/oil*
μ_β *viscosity of phase β*
ρ_β *density of phase β*
ϕ *porosity*

References

Ahmed, T. (2006). *Reservoir engineering handbook (3rd ed.)*. USA: Elsevier Inc.

Amyx, J., Bass, D., & Whiting, R.L. (1960). *Petroleum reservoir engineering physical properties*. Texas: McGraw-Hill Book Company.

Alyafei, N., & Blunt, M.J. (2018). Estimation of relative permeability and capillary pressure from mass imbibition experiments. *Advanced in Water Resources*, 115, 88-94. Doi: 10.1016/j.advwatres.2018.03.003.

Arabjamaloei, R., Ruth, D.W., Green, D., & Veselinovic, D. (2015). Analyzing the open face condition and nonequilibrium effects in co- and countercurrent spontaneous imbibition with experiments and

numerical simulation. In International Symposium of the Society of Core Analysts Held in St. John's, Newfoundland and Labrador, Canada.

Dandekar, A.Y. (2013). *Petroleum reservoir rock and fluid properties.* USA: Taylor & Francis Group.

Haugen, A., Fernø, M. A., Mason, G., & Morrow, N. R. (2014). Capillary pressure and relative permeability estimated from a single spontaneous imbibition test. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 115, 66-77. Doi: 10.1016/j.petrol.2014.02.001.

Jia, F., Zhou, K., & Li, K. (2006). Determination of capillary pressure and relative permeability from spontaneous imbibition data in gas-liquid-rock (SPE99893). In Society of Petroleum Engineers, 68th European Association of Geoscientists and Engineers Conference and Exhibition, incorporating SPE EUROPEC 2006, EAGE 2006: Opportunities in Mature Areas.

Li, K., & Horne, N.R. (2005). Computation of capillary pressure and global mobility from spontaneous water imbibition into oil-saturated rock. *SPE Journal*, 10 (04), 458-465. Doi: 10.2118/80553-PA.

Matlab, (2020a). Cross-validation- Matlab & Simulink. Retrieved from https://www.mathworks.com/discovery/cross-validation.html.

Matlab, (2020b). Genetic Algorithm Options - Matlab & Simulink. Retrieved from https://www.mathworks.com/help/gads/genetic-algorithm-options.html

Mccain, W.D., Jr (1990). *The properties of petroleum fluids (2nd ed.).* Tulsa: PennWell Books.

McWhorter, D.B., & Sunada, D.K. (1990). Exact integral solutions for two-phase flow. *Water Resources Research*, 26 (3), 399-413. Doi: 10.1029/WR026i003p00399

Pruess, K., Oldenburg, C., & Moridic, G. (1999). *TOUGH2 user's guide version 2.0*. California, Lawrence: Berkeley National Laboratory. Retrieved from https://tough.lbl.gov/assets/docs/TOUGH2_V2_Users_Guide.pdf

Rao, S.S. (2009). *Engineering Optimization: Theory and practice (Fourth Edition)*. Canada: John Wiley & Sons, Inc. Doi: 10.1002/9780470549124

Schmid, K.S., Alyafei, N., Geiger, S., & Blunt, M.J. (2016). Analytical solutions for spontaneous imbibition: Fractional-flow theory and experimental analysis. *SPE Journal*. Doi: 10.2118/184393-PA

Torsaeter, O., & Abhati, M. (2000). *Experimental reservoir engineering laboratory work book*. Norway: Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics, Norwegian University of Science and Technology. Retrieved from http://www.ipt.ntnu.no/~oletor/kompendium4015.pdf

Zhang, S., Pu, H., & Zhao, J.X. (2019). Experimental and numerical studies of spontaneous imbibition with different boundary conditions: Case studies of Middle Bakken and Berea Cores. *Energy and Fuels*, 33 (6), 5135-5146. Doi: 10.1021/acs.energyfuels.9b00909

Robust Regression Estimation Based On The Exponential Power Series Distribution

Mutlu ALTUNTAŞ*[1,a], Olcay ARSLAN[2,b]
[1]*Sinop University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Statistics, 57000, Sinop*
[2]*Ankara University, Faculty of Science, Department of Statistics, 06100, Ankara*

Abstract

In most scenarios of the classical linear regression modelling, inference depends on the measurement error distribution with a long-tail when data set includes few or many outliers. This creates a large deviation from the assumed Normal data generation model because of the tails of such distributions decrease to zero more slowly than the Normal distribution. In this context, one way to achieve robustness to long-tails is to utilize the sampling model from within some distribution families, also called robust distributions, enriched with robustness parameters with tails heavier than the Normal distribution. Therefore, regression models with heavy-tailed distributed errors are a popular choice to obtain robustness against to the presence of outliers in the data sets.

In this study, we considered robust parameter estimation of the linear regression model with Exponential Power Series (EPS) distributed errors. EPS distribution is a symmetric, univariate and unimodal distribution involved in the class of heavy-tailed distributions belonging to the elliptical distribution family. Potential use of this distribution has been appraised on real data samples in Bayesian regression modelling in the literature, but there is a lack of performance evaluation for finite samples in classical regression modelling. Therefore, this study aimed to explore its robustness properties when used as error distribution compared to other alternating heavy-tailed distributions like Student-t, Laplace and etc. For this purpose, we firstly proposed robust estimators for parameters of the linear regression model with EPS distributed error and obtained robust estimates of the model parameters by using these estimators in modelling of two real data sets with outliers. Real data application results demonstrated that the data set should be modeled with a regression model based on EPS distribution with the lowest Akaike Information Criterion (AIC) value.

Keywords: Exponential Power Series, Heavy-Tailed Distribution, Robust Parameter Estimation, Robust Regression

1. Introduction

Robust regression estimation procedure depends on the two major situations. One is the departures from the assumptions of regression and the other is the presence of outliers in the data set. In this regard, robustness is a desirable property so as to produce estimators which are not excessively affected by these departures. In most regression modelling scenarios, inference depends much more heavily on the error distribution with a long-tail due to either few of many outliers. This case causes a large deviation from the default Normal model. In this sense, robustness to long tails is crucial and it can be obtained by specifying the sampling model from within some robust distributions which is enriched with robustness parameters. In regression modelling, one way to obtain robust regression parameter estimates against to outliers is to utilize regression models with heavy-tailed distributed errors. "The usage of the alternative error distributions, heavy-tailed relative to the normal, have uncovered a variety of robust models in the literature (Lange et. al., 1989; Albert et.al., 1991; Lange and Sinsheimer, 1993;, Shi et al., 2013)". "A typical example is ensured by univariate Student-t distribution and robustness is achieved by choosing a proper degrees of freedom parameter. This distribution has been applied widely for robust least-squares fitting of multiple regression in the literature (Lange et. al., 1989; Butler et.al., 1990; Bolfarine and Valle, 1994; Tiku et. al., 2001; Taylor and Verbyla, 2004)." Besides, "Laplace distributed errors were also considered for both linear and mixture linear regression models (Shi et.al., 2013)." "Contaminated normal

and Slash distributions were applied as alternating in accommodating outlying observations of the modelling applications (Lange and Sinsheimer, 1993; Alcantara and Cysneiros, 2013)."

In this study, the symmetric univariate and unimodal Exponential Power Series (EPS) distribution which is belonging to elliptical distribution family is considered as an alternative to the heavy-tailed distributions for the reason that its potential on the robust regression estimation has been largely overlooked in the literature. Our main interest therefore in obtaining robust parameter estimates by concentrating on the performance of EPS error distribution when data are contaminated by outliers within the regression modelling framework. In the next section, we briefly introduced EPS distribution. In Section 3, we proposed the robust estimators for parameters of the linear regression model with EPS distributed error. Section 4 present robust parameter estimates by using these estimators in modelling of two real data sets with outliers. Finally, the paper is finalized by the discussion and results section.

2. Exponential Power Series (EPS) Distribution

Exponential Power Series (EPS) distribution is introduced by Box and Tiao in 1962. If a random variable X has the following probability density function (pdf)

$$f(x/\mu,\sigma,\delta) = k_\delta \sigma^{-1} \exp\left(-c_\delta \left|\frac{x-\mu}{\sigma}\right|^{\frac{2}{\delta+1}}\right) \quad ; \quad x \in R \quad , \quad -1 < \delta \le 1 \tag{1}$$

where $c_\delta = \left[\frac{\Gamma(\frac{3}{2}(\delta+1))}{\Gamma(\frac{1}{2}(\delta+1))}\right]^{\frac{1}{\delta+1}}$ and $k_\delta = \frac{\left[\Gamma(\frac{3}{2}(\delta+1))\right]^{1/2}}{(\delta+1)\left[\Gamma(\frac{1}{2}(\delta+1))\right]^{3/2}}$

it is said that it has a EPS distribution ($X \sim EPS(\mu,\sigma,\delta)$). Here, μ is the location parameter, σ is the scale parameter and δ can be regarded as a non-Normality parameter. In case of $\delta > 0$, the distributions have heavier tails than the Normal form and in case of $\delta < 0$, the distributions have flatter tails. Some special cases for this distribution can be summarized as the normal $(\delta = 0)$, the double exponential or laplace $(\delta = 1)$ and rectangular $(\delta \to -1)$ distributions.

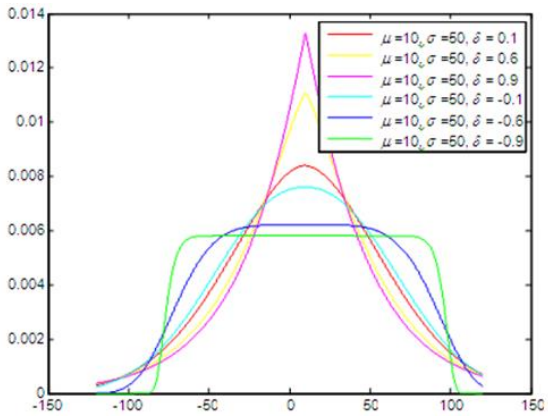


Figure 1. Plots of the densities for $\mu = 10$, $\sigma = 50$, $\delta > 0$ and $\delta < 0$

Figure 1 displays the plot of density functions of EPS distributions with different tail thickness according to the cases of $\delta > 0$ and $\delta < 0$. If the value of δ parameter approaches to zero, the distribution is similar to "Normal form" or if the value of δ parameter approaches to one, the distribution has heavier tails than the Normal and this is similar to "Double exponential form". In addition to these, if the value of δ parameter approaches to -1, the distribution has flatter tails than the Normal and this is similar to "Rectangular form".

3. Robust Regression Based On EPS Distribution

Consider the following multiple linear regression model:

$$y_i = x_i'\beta + \varepsilon_i \quad , \quad i = 1,2,...,n \tag{2}$$

where y_i is a dependent variable, $x_i' = \left(x_{i1},...,x_{ip}\right)$ is a set of regressors, $\beta = \left(\beta_0,\beta_1,...,\beta_p\right)'$ is a vector of unknown model parameters and ε_i are the independently and identically distributed (i.i.d.) random errors. "When we assumed the validity of normal data generating model, ordinary least square (OLS) estimates of β are $\hat{\beta}_{OLS} = \left(X'X\right)^{-1}\left(X'y\right)$ and the maximum likelihood (ML) estimate for σ^2 is $\hat{\sigma}^2_{ML} = \left(y - X\hat{\beta}\right)'\left(y - X\hat{\beta}\right)/n$ (Rao, 1973; Zellner, 1976; Amemiya, 1985; Geer, 2005)."

These estimates are well known to be highly sensitive to deviations from the Normality assumption due to the presence of outliers in the data set. "One way to get more robust inferences against outliers is to utilize unimodal heavy-tailed error distributions. Student-t, Laplace etc. distributions are some examples of heavy-tailed distributions and are widely used in regression modelling in the literature (Maronna and Yohai, 1979; Huber, 1981; Bloomfield and Staiger, 1983; Yohai, 1985; Rousseeuw and Leroy, 1987)."

We here assumed that the random errors in model (2) have EPS distribution $\left(\varepsilon_i \sim EPS(0,\sigma,\delta)\right)$ and proceed estimation of the model parameters using the ML method with this assumption. In this case, we have

$$P(\varepsilon_i / 0,\sigma,\delta) = k_\delta \sigma^{-1} \exp\left(-c_\delta \left| \frac{\varepsilon_i}{\sigma} \right|^{\frac{2}{\delta+1}} \right) \quad ; \quad , \quad i = 1,2,..,n \quad , \quad \varepsilon_i = y_i - x_i'\beta \tag{3}$$

Likelihood function under this assumption is given by

$$L(\beta,\sigma,\delta;y,x) = \prod_{i=1}^{n} P(\varepsilon_i / 0,\sigma,\delta) \tag{4}$$

$$= \left(k_\delta\right)^n \sigma^{-n} \exp\left(-c_\delta \left| \frac{1}{\sigma} \right|^{\frac{2}{\delta+1}} \sum_{i=1}^{n} \left| y_i - x_i'\beta \right|^{\frac{2}{\delta+1}} \right) \tag{5}$$

Robust estimators of β and σ parameters for each δ constant can be found by maximizing the log-likelihood function.

The log-likelihood function can be defined as

$$\ln L(\beta,\sigma,\delta;y,x) = n\ln\left(k_\delta\right) - n\ln\left(\sigma\right) - c_\delta\left|\frac{1}{\sigma}\right|^{\frac{2}{\delta+1}}\sum_{i=1}^{n}\left|y_i - x_i'\beta\right|^{\frac{2}{\delta+1}}$$

(6)

Derivative of the log-likelihood function w.r.t. β produces the following equations:

$$\left.\frac{\partial \ln L\left(\beta,\sigma,\delta;y,x\right)}{\partial\beta}\right|_{\substack{\beta=\hat{\beta}_{EPS}\\ \sigma=\hat{\sigma}_{EPS}}} = 0$$

(7)

$$-c_\delta\left|\frac{1}{\sigma}\right|^{\frac{2}{\delta+1}}\sum_{i=1}^{n}\frac{2}{\delta+1}\left|y_i - x_i'\beta\right|^{\frac{1-\delta}{\delta+1}}\left(-x_i'\right)\operatorname{sgn}\left(y_i - x_i'\beta\right)\Big|_{\substack{\beta=\hat{\beta}_{EPS}\\ \sigma=\hat{\sigma}_{EPS}}} = 0$$

(8)

$$\sum_{i=1}^{n}\left|y_i - x_i'\hat{\beta}_{EPS}\right|^{\frac{-2\delta}{\delta+1}}\left(y_i - x_i'\hat{\beta}_{EPS}\right)x_i = 0 \quad , \qquad \left(\hat{w}_{i_{(EPS)}} = \left|y_i - x_i'\hat{\beta}_{EPS}\right|^{\frac{-2\delta}{\delta+1}}\right)$$

(9)

In this case, robust estimator of β parameter is obtained as follows:

$$\hat{\beta}_{EPS} = \left(\sum_{i=1}^{n}\hat{w}_{i_{(EPS)}}x_i x_i'\right)^{-1}\left(\sum_{i=1}^{n}\hat{w}_{i_{(EPS)}}x_i y_i\right)$$

(10)

where $\hat{w}_{i_{(EPS)}}$ is the estimate of weight value of i th observation. In matrix form as

$$\hat{\beta}_{EPS} = \left(X'WX\right)^{-1}\left(X'Wy\right)$$

(11)

where y is a column vector of n elements, X is a $n\times(p+1)$ design matrix and β is a column vector of the $(p+1)$ elements. W is a diagonal matrix with the scalars $\hat{w}_{i_{(EPS)}}$. Similarly, robust estimator of σ is obtained from the following equation:

$$\left.\frac{\partial \ln L\left(\beta,\sigma,\delta;y,x\right)}{\partial\sigma}\right|_{\substack{\beta=\hat{\beta}_{EPS}\\ \sigma=\hat{\sigma}_{EPS}}} = 0$$

(12)

Derivative of log-likelihood function for σ is achieved as

$$\frac{-n}{\sigma} - c_\delta\frac{2}{\delta+1}\left|\frac{1}{\sigma}\right|^{\frac{1-\delta}{\delta+1}}\left(-\frac{1}{\sigma^2}\right)\operatorname{sgn}\left(\frac{1}{\sigma}\right)\sum_{i=1}^{n}\left|y_i - x_i'\beta\right|^{\frac{2}{\delta+1}}\Big|_{\substack{\beta=\hat{\beta}_{EPS}\\ \sigma=\hat{\sigma}_{EPS}}} = 0$$

(13)

In this case, robust estimator of σ is defined as follows:

$$\hat{\sigma}_{EPS} = \left(\frac{2c_{\delta}}{n(\delta+1)} \right)^{\frac{2}{\delta+1}} \sqrt[\frac{\delta+1}{2}]{\sum_{i=1}^{n} \hat{w}_{i_{(EPS)}} \left| y_i - x_i' \hat{\beta}_{EPS} \right|^2}$$

(14)

Numerical methods are necessary in obtaining of these estimators because of W matrix includes both β and σ parameters.

4. Real Data Examples

4.1. Example 1

We here consider Belgium phone calls data set given by Rousseeuw and Leroy (1987). This data set gives the total number of international telephone calls made from Belgium in the years 1950 through 1973. Table 1 displays a data frame with 24 observations on the following two variables.

Table 1. Belgium phone calls data set

Year	: 1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964
	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973						
Telephone	: 0.44	0.47	0.47	0.59	0.66	0.73	0.81	0.88	1.06	1.20	1.35	1.49	1.61	2.12	11.90
Calls	12.40	14.20	15.90	18.20	21.20	4.30	2.40	2.70	2.90						

The simple linear regression model for these variables is defined as follows:

$$y_i = \alpha + \beta x + \varepsilon_i \quad , \quad i = 1, 2, ..., 24$$

(15)

where the dependent variable is "Year" and β is the regression coefficient for telephone calls variable. The intercept is denoted by α.

We here present two simple linear regression models. Firstly, least square model which is obtained according to the assumption of Normality.

$$\hat{y}_{LS} = -26.006 + 0.504 x_{Calls} \quad , \quad i = 1, 2, ..., 24$$

(16)

Secondly, Huber M model which is obtained with respect to M robust regression model as a reference model.

$$\hat{y}_{Huber-M} = -10.599 + 0.210 x_{Calls} \quad , \quad i = 1, 2, ..., 24$$

(17)

Figure 2 displays the standardized residual values obtained according to the LS and Huber's M methods. This data set contains six outlying observations (from 1964 through 1969 year).

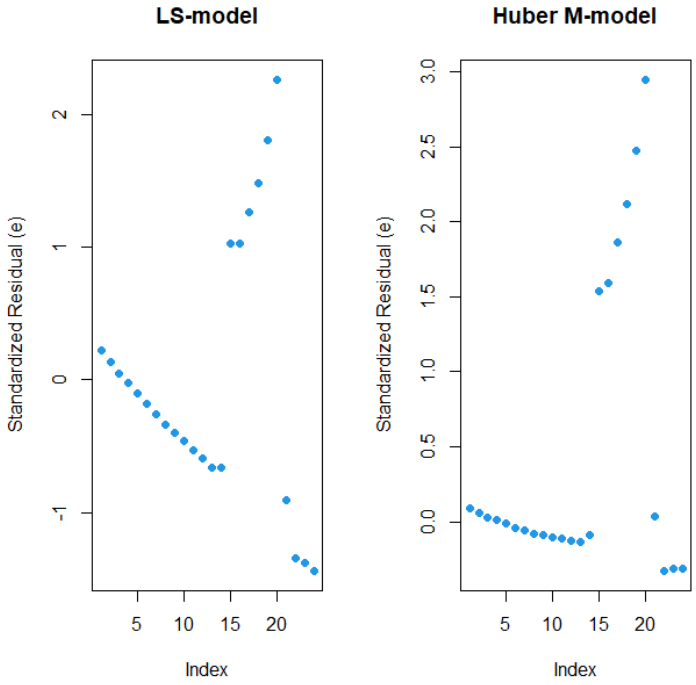


Figure 2. Standardized residual plots according to LS and Huber's M methods for Belgium data

In regression modelling of available this data set, our main aim is to achieve robust estimates that are not affected by outliers. For this purpose, we considered regression models with different error distribution (Normal, Student-t, Laplace and EPS). When the parameter estimates of the regression models based on different error distributions are examined, the results least affected by outliers belong to proposed EPS estimators, having also the lowest Akaike Information Criterion (AIC) (Table 2). So, it can be said that this data set can be modeled with a robust regression model based on EPS $(0,\sigma,0.9)$ error distribution compared to other models based on Student-t and Laplace heavy-tailed error distributions. Also, compared to Huber's M estimates in Eq. 17, EPS estimates seem to be resistant to the outliers of this data set.

Table 2. Parameter estimates of the regression models based on the different error distributions by using Belgium phone calls data set

Error (ε_i) distribution	$\hat{\alpha}$	$\hat{\beta}$	$\hat{\sigma}$	- lnL	AIC
$N(0,\sigma^2)$	- 26.006	0.504	5.383	74.452	154.905
$t(0,\sigma^2,3)$	- 8.726	0.176	2.085	73.252	152.505
$L(0,\sigma)$	- 7.649	0.155	3.518	70.816	147.632
$EPS(0,\sigma,0.1)$	- 25.393	0.490	262.027	119.923	245.846
$EPS(0,\sigma,0.6)$	- 13.677	0.267	13.695	71.926	149.852
$EPS(0,\sigma,0.9)$	- 8.100	0.162	6.054	69.756	**145.513**

4.2. Example 2

The data set, famously known as "Brownlee's stack loss plant data" in the literature, is here chosen to illustrate the performance of EPS distribution comparatively with Normal, Student-t and Laplace distributions.

It contains observations of "21 days of operation of a plant for the oxidation of ammonia (NH3) to nitric acid (HNO3)" with three explanatory variables. The dependent variable is the stack loss which is 10 times the percentage of the ingoing ammonia to the plant that escapes from the absorption column unabsorbed. The explanatory variables are Air flow, Water temperature and Acid concentration.

This data set was used as an example to illustrate certain computational procedures of multiple regression using the least squares method by Brownlee (1960). "Since then it has been the subject of robust procedures in at least 90 distinct papers of multiple linear regression (Zellner, 1976; Denby and Mallows, 1977; Andrews and Pregibon, 1978; Maronna and Yohai, 1979; Atkinson, 1982; Yohai, 1985; Butler et.al., 1990; Bolfarine and Valle, 1994; Geer, 2005; Shi et.al., 2013)."

Estimated linear regression model assuming normally distributed measurement errors (Brownlee, 1960)

$$\hat{y}_{i_{loss}} = -39.919 + 0.715x_{i1} + 1.295x_{i2} - 0.152x_{i3} \quad , \quad i = 1,2,...,21 \tag{18}$$

Besides LS method, we here also present estimated robust regression model obtained by using Huber's M estimation method as a guidance for our achievements (Birkes and Dodge, 1993).

$$\hat{y}_{i_{Huber-M}} = -41.170 + 0.813x_{i1} + 1.000x_{i2} - 0.132x_{i3} \quad , \quad i = 1,2,...,21 \tag{19}$$

Figure 3 shows that the standardized residual values obtained according to the LS and Huber's M methods. There are four outliers, one of which is in $x-$ and, three of which are in $y-$ direction. "This observations were also detected as outliers by many authors, which caused it to be entitled as a real data set with four outliers (Hettmansperger and McKean, 1977; Rey, 1977; Aitkin and Wilson, 1980; Ruppert and Carroll, 1980; Antoch and Jureckova, 1985; Osborne, 1985; Birkes and Dodge, 1993)."

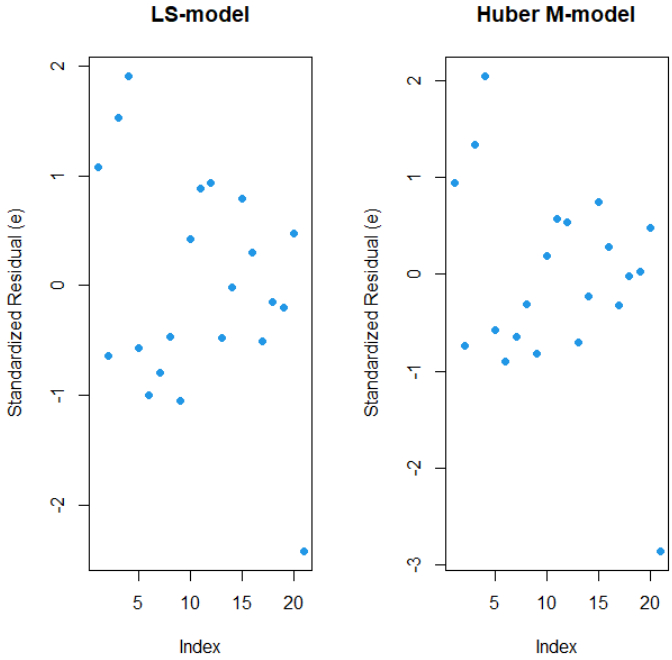


Figure 3. Standardized residual plots according to LS and Huber's M methods for stack loss data

Table 3 presents parameter estimates of the regression models with the different error distributions (Normal, Student-t, Laplace and EPS distribution) by using stack loss data set. In comparison of regression models with heavy-tailed error distributions (Student-t, Laplace and EPS), regression model based on EPS$(0,\sigma,0.6)$ distribution with the lowest AIC value gives more robust parameter estimates (Table 3). The use of this regression model may be preferred in modelling of stack loss data set.

Table 3. Parameter estimates of the regression models based on the different error distributions by using stack loss data set

Error (ε_i) distribution	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\sigma}$	- lnL	AIC
$N(0,\sigma^2)$	- 39.920	0.716	1.295	- 0.152	2.912	52.290	114.580
$t(0,\sigma^2,3)$	- 39.124	0.854	0.657	- 0.104	1.755	51.070	112.140
$L(0,\sigma)$	- 39.689	0.832	0.574	- 0.061	2.004	50.155	110.310
$EPS(0,\sigma,0.1)$	- 40.112	0.743	1.186	- 0.142	34.456	60.448	130.897
$EPS(0,\sigma,0.6)$	- 38.208	0.824	0.698	- 0.104	5.250	45.594	**101.188**
$EPS(0,\sigma,0.9)$	- 39.652	0.830	0.581	- 0.062	3.184	48.665	107.330

5. **Discussion and Results**

In regression modelling, the use of robust estimation methods has gained importance due to the least squares estimations behave badly, especially when the random errors have heavy-tailed than Normal. Therefore, robust regression modelling may be based on the error distribution have fatter tails than the Normal distribution. Robust estimators obtained from regression models with heavy-tailed distributed errors automatically reduce the effects of outliers.

The main purpose of this study is to contribute to the development of robust regression modelling based on EPS error distribution, which is one of the heavy-tailed distributions, because of there is a lack of performance evaluation for EPS distribution in classical regression modelling. Real data application results demonstrated that the data set should be modeled with the regression model based on the EPS error distribution with the lowest AIC value compared to the other models. Robustness of EPS is better than the selected heavy-tailed distributions (Student-t and Laplace). The use of the regression model based on EPS distributed errors which gives more resistant parameter estimates against outliers compared to the estimates obtained from regression models based on heavy-tailed error distributions such as Student-t and Laplace, may be preferred for alternative studies in robust regression modelling.

References

Albert, J., Delampady, M. and Polasek, W. (1991). A class of distributions for robustness studies, *Journal of Statistical and Planning Inference*, 28, 291-304.

Aitkin, M. and Wilson, G.T. (1980). Mixture models, outliers, and the EM algorithm. *Technometrics*, 22, 325-331.

Alcantara, I.C. and Cysneiros, F.J.A. (2013). Linear regression models with slash-elliptical errors. *Computational Statistics and Data Analysis*, 64, 153-164.

Amemiya, T. (1985). *Advanced econometrics*. Cambridge: Massachusetts.

Andrews, D.F. and Pregibon, D. (1978). Finding the outliers that matter. *Journal of Royal Statistical Society B*, 40, 85-93.

Antoch, J. and Jureckova, J. (1985). Trimmed least squares estimator resistant to leverage points. *CSQ*, 4, 329-339.

Atkinson, A.C. (1982). Robust and diagnostic regression analyses. Communication Statistics Theory and Methods, 11, 2559-2571.

Birkes, D. and Dodge, Y. (1993). *Alternative Methods of Regression*. New York: J Wiley, 177-179.

Bloomfield, P. and Staiger, W. (1983). *Least Absolute Deviations Theory-Applications and Algorithms*.

Birkhauser: Boston Mass.

Bolfarine, H. and Arellano-Valle, R.B. (1994). Robust modelling in measurement error models using the t-distribution, *REBRAPE*, 8, 67-84.

Box, G. E. P. and Tiao, G. (1962). A further look at robustness via Bayes's theorem, *Biometrika*, 49, 419-432.

Brownlee, K.A. (1960). *Statistical Theory and Methodology in Science and Engineering*. New York: J Wiley, 491-500.

Butler, R.J., McDonald, J.B., Nelson, R.D. and White, S.B. (1990). Robust and partially adaptive estimation of regression models. *The Review of Economics and Statistics*, 72, 321-327.

Denby, L. and Mallows, C.L. (1977). Two diagnostic displays for robust regression analysis. *Technometrics*, 19, 1-13.

Geer, S. (2005). *Least squares estimators*. Encyclop Statististics in the Behaviour Science Wiley.

Hettmansperger, T.P. and McKean, J.W. (1977). A robust alternative based on ranks to least squares in analyzing linear models. *Technometrics*, 19, 275-284.

Huber, P.J. (1981). *Robust statistics*. New York: J Wiley.

Lange, K. and Sinsheimer, J.S. (1993). Normal/Independent Distributions and Their Applications in Robust Regression, *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 2, 175-198.

Lange, K.L., Little, R.J.A. and Taylor, J.M.G. (1989). Robust statistical modeling using the t distribution, *Journal of American Statistical Association*, 84 (408), 881-896.

Maronna, R.A. and Yohai, V.J. (1979). Asymptotic behavior of M-estimates for the linear model. *The Annals of Statistics*, 7, 258-268.

Osborne, M.R. (1985). Finite Algorithms in Optimization and Data Analysis. New York: J Wiley, 267-270.

Rao, C.R. (1973). Unified theory of least squares. *Communications in Statistics*, 1, 1-8.

Rey, W.J.J. (1977). *M-Estimators in Robust Regression, a Case Study*. M.B.L.E. Researc Lab Brussels.

Rousseeuw, P.J. and Leroy, A.M. (1987). *Robust Regression & Outlier Detection*. New York: J Wiley, 76-78.

Ruppert, D. and Carroll, R.J. (1980). Trimmed least squares estimation in the linear model. *Journal of American Statistical Association*, 75, 828-838.

Shi, J., Chen, K., and Song, W. (2013). Robust errors-in-variables linear regression via Laplace distribution, *Statistical Probability Letters*, 84, 113-120.

Taylor, J. and Verbyla, A. (2004). Joint modelling of location and scale parameters of the t distribution. *Statistical Modelling*, 4, 91-112.

Tiku, M.L., Islam, M.Q. and Selcuk, A.S. (2001). Non-normal regression, II: Symmetric distributions. *Communications in Statistics Theory and Methods*, 30, 1021-1045.

Yohai, V.J. (1985). High breakdown point and high efficiency robust estimates for regression. *The Annals of Statistics*, 15, 642-656.

Zellner, A. (1976). Bayesian and non-Bayesian analysis on the regression model with multivariate Student-t error terms. *Journal of the American Statistical Association*, 71, 400-405.

Uzaktan Eğitim Sürecinin Mühendislik Fakültesi Öğretim Üyeleri ve Öğrencileri Tarafından Değerlendirilmesi

Ali KAYA[1], Zeynep BAŞKAN TAKAOĞLU*[1]
[1]Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Fizik Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

Öz

Araştırmanın amacı; üniversite düzeyinde mühendislik fakültesi içerisinde yürütülen çevrimiçi derslerin ve sınavların öğrenciler ve öğretim elemanları tarafından değerlendirilmesidir. Bu doğrultuda Fizik 1 dersini alan 25 öğrenciye bu eğitim ve öğretimin değerlendirilmesine yönelik uygulanan sınavlarla ilgili karşılaşılan sorunları belirlemek amacıyla likert tipi sorulardan oluşan bir anket uygulanmıştır. Ayrıca beş öğrenci ve üç öğretim üyesi ile yarı yapılandırılmış mülakat yapılmıştır. Toplanan verilerin analizi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Mülakatlar nitel veri analiz teknikleri kullanılarak betimsel analize tabi tutulmuşlardır. Anket verileri için ise nicel veri analiz teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular: öğrencilerin: % 80'inin uzaktan eğitimden memnun oldukları, uzaktan eğitimin olumlu yönünün derslerin kayıt altına alınması ve tekrar tekrar izlenmesi ile ev ortamından takip edilmesi olarak söylenirken; olumsuz yönleri ise, ders konularının tam olarak öğrenilememesi ve canlı ders aşamasında yaşanan teknik sorunlar olarak ifade edilmiştir. Öğrencilerin % 60'ı sınavlarda arkadaşlarının dışarıdan destek aldıklarını belirtmiştir. Öğretim elemanları uzaktan eğitimin avantajları yanında en olumsuz yönünün sınavlarda öğrencilerin dışardan yardım alarak hak etmedikleri başarıyı göstermeleri olarak belirtmiştirler. Buna çözüm olarak sınavların üniversite ortamında yüz yüze yapılmasını önermişlerdir. Yukarıdaki bulgulara göre sonuç olarak öğrencilerin çoğu uzaktan eğitimden memnun olmalarına rağmen konuları tam olarak öğrenemedikleri ve sınavlarda kopya çekilerek hak edilmeyen başarıya ulaşılmaktadır. Kopya olayını önlemek için sınavlar üniversite kampüslerinde yüz yüze yapılabilir. Yada çok zaman alıcı olmasına rağmen çoktan seçmeli ve açık uçlu test yerine tüm dönem boyunca yürüttükleri çalışmaların yer aldığı portfolyo dosyaları hazırlanarak bu dosyaların incelenmesi yapılabilir.

Anahtar kelimeler: Mühendislik Fakültesi, Öğretim Elemanı ve Öğrenci, Uzaktan Eğitim, Değerlendirme

1. Giriş

Yaklaşık son bir yıldır dünya ciddi bir pandemik hastalıkla mücadele etmektedir. Bunun sonucu olarak insanların yaşamları tümüyle değişmiş ve birçok rutin yerini yeni ve farklı durumlara bırakmıştır. Bunun sonucunda ise dersler tümüyle internet ortamına taşınmış ve buna bağlı olarak sınavlarda bu alanlarda yürütülmüştür. Eğitim öğretim faaliyetleri bireylerin en önemli ihtiyaçlarından biridir. Eğitim sayesinde insanlar yemek yemekten, konuşmaya, yürümekten, şarkı söylemeye kadar pek çok durum ve davranışı öğrenirler. Bu davranışlar içerisinde planlı ve programlı şekilde yürütülen ve bireyi topluma yararlı hale getirmeye çalışan davranışlar ise okullarda öğretilir (Küçükahmet, 2003). İlk yıllarda temel bilgilerin öğretilmesine karşın üniversite düzeyinde bireyler gerçek yaşama hazırlanır ve onlara seçtikleri meslekleri yönünde eğitimler verilir.

Üniversiteler diğer eğitim kurumları ile kıyaslandığında yüz yüze planlı eğitimi veren en üst kurumlar olarak ifade edilebilir (Akdemir ve Kılıç, 2020). Ancak mevcut şartlar göz önüne alındığında yüz yüze eğitimin yapılamadığı durumlarda en uygun alternatif uzaktan eğitim olarak gösterilebilir. Uzaktan eğitim bildirimlere kısa sürede dönüt verme, materyal olarak video paylaşımı sunma, öğrencilerin motivasyonunu arttırma gibi pek çok avantaja sahiptir (Şenkal ve Dinçer, 2012). Dahası uzaktan eğitim her kademede uygulanabilmekte ve bireylere gerçek durumlara yakın sanal ortamlar da sunabilmektedir. Bu yönüyle yüz yüze eğitim öğretim faaliyetlerinden sonra tercih edilebilecek en güçlü alternatiftir.

Türkiye'de uzaktan eğitimin yaygın kullanıldığı dönem son bir buçuk yıl olarak ifade edilebilir. Bu sürecin başlangıcı Covid-19 salgını ile başlamıştır. Türkiye'de üniversitelerin bağlı olduğu Yüksek Öğretim Kurulu (YÖK) öncelikle 16 Mart 2020 tarihinde üniversitelerde eğitim öğretim faaliyetlerine üç hafta ara verildiğini belirtmiş, ardından 23 Mart 2020 tarihinde aynı kurumlarda uzaktan eğitim sürecinin başladığını duyurmuştur (Durak, Çankaya ve İzmirli, 2020). Üniversitelerde uzaktan eğitim faaliyetlerinin bir sonucu olarak eğitim faaliyetlerinin tümü dijital ortamlara taşınmıştır. Buna paralel olarak ölçme değerlendirme faaliyetlerinin büyük bir çoğunluğu da dijital platformlarda yürütülmüştür.

Uzaktan eğitimde çoktan seçmeli testler, açık uçlu veya kısa cevaplı sorular, proje çalışmaları, e-portfolyolar ve eğitsel oyunlar gibi farklı ölçme araçlarından yararlanılabilir (Baran, 2020). Ancak bu ölçme araçlarının her biri uzaktan eğitim süreci içerisinde geçerlilik ve güvenilirlik yönünde karşılattırıldığında belirli tartışma ve sorunlar içermektedirler. Bunun sonucunda uzaktan eğitimin son yıllarda etkisini arttırması ile birlikte ölçme değerlendirme de yeni arayışlar ortaya çıkmıştır. Böylece hem geleneksel kâğıt kalem sınavları hem de alternatif olarak proje, performans ödevleri gibi ölçme araçları kullanılmaya başlanmıştır (Altan ve Seferoğlu, 2009). Bu ölçme araçlarının birlikte kullanılması öğrencilerin çok yönlü bir değerlendirme ile karşılaşmalarına olanak sağlamaktadır. Bu yönüyle çevrim içi ölçme araçları süreç ve sonucu değerlendirmesi ile başarıyı belirlemede daha etkili rehberlik yapan ölçme araçları olarak görülmeye başlanmıştır (Altan ve Seferoğlu, 2009). Bunun yanında hem öğretim elemanını hem de öğrenciyi değerlendirmesi çevrim içi sınavların bir diğer artısı olarak görülebilir. Çevrim içi sınavlar; öğrencinin istediği zaman sınava girmesi, verilerin daha çabuk toplanması ve değerlendirilmesi, düşük maliyetli olması (basımı, çoğaltılması, sonuçların toplanması…), istatistiksel dönütü kolaylaştırması, ölçmede hataları ortadan kaldırması, soruların kolay bir şekilde güncellenebilmesi ve rahatlıkla hazırlanabilmesi gibi birçok avantaj sağlamaktadır (Yağcı, Ekiz ve Gelbal, 2015). Bunun yanında eğitimcilerin sınavlarda en çok sorun yaşadıkları konuların başında sınav yapma, değerlendirme, öğrenci performansını izleme ve istatistiksel çıkarımda bulunma olduğu bilinmektedir (Yağcı, 2012). Özellikle çevrim içi sınavlarla birlikte bu sorun daha da artmakta ve öğretim elemanları yeni karşılaştıkları bu sistemi anlamaya ve uygulamaya yönelik çalışmalar yürütmektedirler.

Alan yazında uzaktan eğitim konusunda yürütülen çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir (Baran, 2020). Ölçme değerlendirme çalışmaları çoğunlukla eğitim öğretimin son aşaması olarak görülmekte ve bu nedenle bu alana yeterince önem verilememektedir. Mevcut çalışma ile uzaktan eğitim sürecinin daha yakından incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda paydaşlardan bir olan öğrenciler ve diğer paydaş olan öğretim elemanları ile ölçme değerlendirme çalışmaları değerlendirilmiştir. Bu nedenle çalışmanın temel amacı; Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi öğrencileri ile çevrim içi olarak yürütülen derslerin ve sınavların öğretim elemanları ve öğrenciler tarafından değerlendirilmesidir. Bu ana amaç doğrultusunda alt problemler ise;

1. Öğrencilerin uzaktan eğitim-öğretim konusunda ve bu eğitimin ölçme-değerlendirmesine yönelik görüşleri nelerdir?
2. Öğretim elemanlarının uzaktan eğitim-öğretim ve bu eğitimin ölçme-değerlendirmesine yönelik görüşleri nelerdir? Şeklinde belirlenmiştir.

2. Yöntem

2.1. Araştırma modeli

Bu çalışmada betimsel araştırma modelinden yararlanılmıştır. Betimsel araştırmalar herhangi bir durumu ortaya koymak, değerlendirme yapmak ve olaylar ve olgular arasında bağlantı kurmak için kullanılır (Çepni, 2007). Betimsel araştırmalar içerisinde kullanılan alt modellerinden biri de tarama çalışmalarıdır. Tarama çalışmalarında var olan bir durumun olduğu şekliyle betimlenmesi amaçlanır ve durum hiçbir değişikliğe uğratılmadan okuyucuya sunulur. Tarama modelinde sıklıkla tercih edilen veri toplama araçlarından biri anketlerdir. Bu çalışma da anketler ve mülakatlar yardımıyla mevcut durum ortaya konulmuştur.

2.2. Örneklem

Çalışmanın örneklemini Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, 2020-2021 güz yarıyılında Fizik I dersine devam 25 öğrenci ile aynı yarıyılda uzaktan eğitim öğretim faaliyetlerini sürdüren 3 öğretim elemanı oluşturmaktadır. Öğrencilerin devam ettikleri bölümlere yönelik bilgiler Tablo 1.'de yer almaktadır.

Tablo 1. Örneklemi oluşturan öğrencilerin bölümlere göre dağılımları

Öğrencinin devam ettiği bölüm	**Sayı**
İnşaat mühendisliği	13
Genetik ve Biyomühendislik	2
Elektrik ve elektronik mühendisliği	5
Harita mühendisliği	2
Gıda mühendisliği	3

2.3. Veri toplama araçları

2.3.1. Anket

Uzaktan eğitim ve öğretimin değerlendirilmesi ve uygulanan sınavlarla ilgili karşılaşılan sorunları belirlemek amacıyla likert tipi sorulardan oluşan bir anket uygulanmıştır. Anket iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde uzaktan eğitime ve ders değerlendirmesi için uygulanan sınavlara karşı öğrenci tutumlarını ölçmek amacıyla kullanılan tutum ölçeği Kaya ve Büyükkasap (2004) tarafından Fizik Öğretmen adaylarının öğretmenlik mesleğine yönelik kullandıkları tutum ölçeğinden düzenlenerek oluşturulmuştur. Oluşturulan tutum ölçeği olumlu ve olumsuz 34 ifadeye yer verilmiş olup alfa güvenirlik katsayısı 0.8 dir.

Anket verileri nicel veri analiz teknikleri kullanılarak analiz edilmiştir. Tutum anketi verilerinin analizinde her bir maddede seçilen seçenekler "Hiç Katılmıyorum"dan başlamak üzere sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5 olmak üzere puanlar verilmiştir. Tutumların her bir kategorisi için ortalama puanlar hesaplanmıştır. Aynı şekilde tutum anketinde olumlu cümlelerde "kesinlikle katılıyorum" dan başlayarak olumsuz seçeneklere doğru 5, 4, 3, 2 ve 1 puan verilirken olumsuz cümlelerde ise bu puanlamanın tersi yapılmıştır. Böylece her bir önerme için öğrencilerin puanları toplanarak öğrenci sayısına bölünmek suretiyle ortalama puanlar bulunmuştur. Tutum anket bulgularının değerlendirmesinde, her bir madde ve genel için ortalama puanlara hesaplanarak yapılmıştır. Bu ortalama puanlar; "Kesinlikle Katılmıyorum (1,00-1,79)", "Katılmıyorum (1,80-2,59)", "Kısmen Katılıyorum (2,60-3,39)", "Katılıyorum (3,40-4,19)", "Kesinlikle Katılıyorum (4,20-5,00)" kategorileri içinde değerlendirilerek 3,40 ve yukarı ortalama puanlar anlamlı olarak kabul edilmiştir (Kaya, 2003).

2.3.2. Mülakat

Çalışmada uzaktan eğitim sürecine yönelik beş öğrenci ve üç öğretim elemanı ile mülakatlar sürdürülmüştür. Öğrencilerle yürütülen mülakatlarda uzaktan eğitimin olumlu ve olumsuz yönleri, uzaktan eğitimin öğrencilere kazandırdığı beceriler, sınavlarda dışarıdan destek alıp almadıkları, arkadaşlarının sınav esnasında farklı kaynaklardan destek alıp almadıklarına yönelik sorular yöneltilmiştir. Öğretim elemanlarına ise uzaktan eğitimin olumlu ve olumsuz yönleri ile uzaktan eğitimde yapılan sınavlara ilişkin görüşlerine yönelik 2 açık uçlu soru sorulmuştur. Sorular anket verilerine verilen cevaplar doğrultusunda iki araştırmacı tarafından ortak olarak oluşturulmuştur. Verilerin toplanmasında öğrenciler seçilirken anket verileri dikkate alınmıştır. Genel olarak anket verilerine verilen cevaplar incelenerek olumsuz kategoride bulunan 2, karasız 1 ve katılıyorum seçeneğini daha fazla işaretleyen 2

katılımcı belirlenmiştir. Öğrencilerle yürütülen mülakatlar çevrimiçi ortamda gerçekleştirilmiş ve veriler kaydedilmiştir. Verilerin analizinde öğrenciler Ö1, Ö2, Ö3, Ö4 ve Ö5 şeklinde kodlanmıştır.

Öğretim elemanları ile yürütülen mülakatlarda sorulacak sorular da yine iki araştırmacının ortak kararı ile belirlenmiştir. Öğretim elemanları için 2 açık uçlu soru hazırlanmıştır. Öğretim elemanları araştırmacılar tarafından aynı üniversitede görev yapan kişilerden gönüllülük esasına göre belirlenmiştir. Hazırlanan sorular öğretim elemanları ile yapılan yüz yüze görüşmelerden elde edilmiştir. Veriler ses kayıt cihazına kaydedilmiştir. Verilerin analizinde öğretim elemanları ÖE1, ÖE2 ve ÖE3 şeklinde kodlanmıştır.

Mülakat verilerinin analizinde betimsel analiz teknikleri kullanılmıştır. Öncelikle veriler yazıya dönüştürülmüştür. Ardından asıl veriden ilişkisiz veri çıkarılmıştır. Tüm veriden her soru için belirli kategoriler belirlenmiş ve tekrar eden fikirler ortaya konulmuştur. Sonrasında veriler tablo haline getirilmiş ve tablolardan yararlanılarak bulgular oluşturulmuştur. Son olarak gerekli görülen yerlerde direkt alıntılarla bulgular desteklenmiştir. Bu sayede hem geçerliliğin hem de güvenilirliğin arttırılması amaçlanmıştır.

3. Bulgular

Araştırmanın bulguları, öğrencilere uygulanan anketten elde edilen bulgular, yine öğrencilerle yürütülen mülakatlardan elde edilen bulgular ve öğretim elemanları ile yürütülen mülakatlardan elde edilen bulgular alt başlıkları olmak üzere toplam üç aşamada sunulmuştur.

3.1. Anketten Elde Edilen Bulgular

Anketten elde edilen bulgular öğrencilerin uzaktan eğitimle ve ders değerlendirmesi için uygulanan sınavlar ile ilgili görüşlerini içeren iki kategori altında aşağıda verilmiştir.

Öğrencilerin uzaktan eğitimle ilgili sorulara verdikleri cevaplarla ilgili bulgular frekans ve ortalama puanlar şeklinde aşağıda Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 2. Öğrencilerin uzaktan eğitimle ilgili sorulara verdikleri cevaplardan elde edilen bulgular

İfadeler	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Ort.**
Bence uzaktan eğitim mükemmeldir	5	4	8	3	2	2,681818
Uzaktan eğitimde aldığım dersler başarılı bir şekilde yürütülmektedir	11	1	4	4	2	2,318182
Çevrim içi dersler amacına uygun şekilde yürütülmektedir	3	7	4	8	0	2,772727
Çevrim içi derslerde verilmek istenen her şeyi öğreniyorum	4	1	10	4	3	3,045455
Çevrim içi dersle ilgili anlamadığım konuları ders yürütücüsüne sorabiliyorum	1	4	6	10	1	3,272727
Çevrim içi sınavlarda sorular oldukça zor sorulardan oluşuyordu	4	1	4	9	4	**3,363636**
Çevrim içi sınavlarda sınav süresi kısaydı	5	4	6	3	4	2,863636
Çevrim içi sınavlarda sınav sorularını cevaplandırırken arkadaşlarımdan destek aldım	2	3	8	8	1	3,136364
Çevrim içi sınavlarda sınav sorularını cevaplandırırken çevremden yardım almama fırsat verilmedi	2	4	6	4	6	**3,363636**
Bence çevrim içi sınavlar uygulanırken farklı yöntemler kullanılmalı	4	8	8	0	2	2,454545
Çevrim içi sınavlarda ölçme aracı uygulanırken öğrencilerin kopya çekmelerini engelleyecek önlemler alınmamıştı	5	5	6	3	3	2,727273

Çevrim içi sınavlarda ölçme araları dersin hedef davranışlarını ölçecek nitelikte hazırlanmamıştı	5	4	8	3	2	2,681818
Çevrim içi sınavlarda arkadaşlarım dışarıdan destek almıştır	11	1	4	4	2	2,318182
Online sınavlarda uygulanan ölçme aracı ders çalışma sistemimi etkiliyor	3	7	4	8	0	2,772727
Arkadaşlarımın sınav sürecinde dışarıdan destek aldıklarını düşünüyorum	4	1	10	4	3	3,045455
Çevrim içi sınavların yüz yüze sınavlardan daha etkili ölçme sağladığını düşünüyorum	1	4	6	10	1	3,272727
Çevrim içi sınavlar ve yüz yüze sınavlarda kullanılan ölçme araçları farklı olmalıdır	4	1	4	9	4	**3,363636**
Yüz yüze sınavların çevrim içi sınavlara göre daha göre daha güvenilir olduğunu düşünüyorum.	5	4	6	3	4	2,863636
Çevrim içi sınavlardan arkadaşlarımın hak etmediği notları aldıklarına inanıyorum	2	3	8	8	1	***3,136364***
Çevrim içi sınavlarda internet bağlantısı benim için çok sıkıntı oluşturuyor	2	4	6	4	6	**3,363636**

Tablo 2. de yer alan uzaktan eğitime yönelik fikirleri incelendiğinde öğrencilerin çoğunlukla uzaktan eğitime yönelik olumlu fikirlere orta düzeyde katıldıkları görülmektedir. Verilen cevaplara ait ortalamalar 2 ile 3,36 arasında olduğu görülmektedir. Tüm cevapların genel ortalamasının ise 3,1568 dir. Değerlendirme ölçeğine bakıldığında bu ortalama öğrencilerin "Kısman Katılıyorum" kategorisinde bir değer yargısına sahip olduklarını göstermektedir. Buda öğrencilerin uzaktan eğitime yönelik düşüncelerinin ne çok olumlu nede çok olumsuz olduğunu göstermektedir. Öğrencilerden en yüksek oranda destek alan görüşlerin ortalaması 3,3636 olup, "Online sınavlarda sorular oldukça zor sorulardan oluşuyordu"," Online sınavlarda sınav sorularını cevaplandırırken çevremden yardım almama fırsat verilmedi" ve "Online sınavlarda internet bağlantısı benim için çok sıkıntı oluşturuyor" şeklindeki ifadeler olduğu görülmektedir. Öğrencilerden en az destek alan görüş ise 3,1363 ile "Online sınavlarda sınav sorularını cevaplandırırken arkadaşlarımdan destek aldım" şeklindeki ifadedir.

Öğrencilerin, uzaktan eğitimle ilgili ders değerlendirmesi için uygulanan sınavlar ile ilgili bulguları frekans ve ortalama puanlar şeklinde Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Öğrencilerin uzaktan eğitimle ilgili ders değerlendirmesi için uygulanan sınavlar ile ilgili bulgular

İfadeler	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**Ort.**
İnternet üzerinden yapılan sınavdaki sorular daha anlaşılırdı.	1	1	9	2	9	3,772727
Çevirim içi sınavı kâğıt-kalem sınavına tercih ederim.	2	3	4	7	6	3,545455
Sınavın internet üzerinden olması hoşuma gitti.	2	5	2	6	7	3,5
Bütün sınavların internet üzerinden olmasını isterim.	1	4	10	5	2	3,136364
Çevirim içi sınav, kâğıt-kalem sınavına göre daha düzenliydi.	1	3	6	10	2	3,409091
Çevrimiçi sınavdaki sorular öğrenmemi daha iyi ölçüyordu.	8	2	3	5	4	2,772727
İnternet üzerinden yapılan sınav etkili ve kullanışlıydı.	5	5	7	3	2	2,636364
Kâğıt-kalem sınavı yerine çevirim içi sınavı tercih ederim.	4	7	8	2	1	2,5
Çevirim içi sınav, kâğıt-kalem sınavına göre daha stresliydi.	6	9	4	0	3	2,318182

Çevirim içi sınavda sınav kaygım daha fazlaydı.	6	6	7	1	2	2,409091
Çevirim içi sınava uyum sağlamam zor oldu.	9	5	4	3	1	2,181818
Çevirim içi sınavdan sonra, kâğıt-kalem sınavına göre daha çok yorulduğumu hissettim.	14	4	0	3	1	***1,772727***
Bütün sınavların kâğıt-kalem olmasını isterim.	1	3	5	12	1	3,409091
Çevirim içi sınavda kâğıt-kalem sınavına göre soruları okumak daha zordu.	0	2	14	4	2	3,272727
Çevirim içi sınavda soruların seçimi uygundu.			10	6	6	**3,818182**
Çevirim içi sınavda soruların zorluğu uygundu	1	1	9	2	9	3,772727
Çevirim içi sınavda sorular ayırt ediciydi.	2	3	4	7	6	3,545455

Bu kısımda öğrenciler tarafından verilen cevaplar cevapların ortalamasının 2 ile 3,77 arasında değiştiği görülmektedir. Bu kısma ait genel ortalama ise 2,9636 olarak bulunmuştur. Değerlendirme ölçeğine bakıldığında bu ortalama öğrencilerin "Kısman Katılıyorum" kategorisinde bir değer yargısına sahip olduklarını göstermektedir. Buda öğrencilerin uzaktan eğitimin değerlendirilmesine yönelik yapılan uygulamalarla ilgili düşüncelerinin ne çok olumlu nede çok olumsuz olduğunu göstermektedir. Öğrencilerden en yüksek oranda destek alan görüşü 3,8181 ile "Çevirimiçi sınavda soruların seçimi uygundu." şeklindeki ifade olduğu görülmektedir. Öğrencilerden en az destek alan görüş ise 1,7727 ile "Çevirimiçi sınavdan sonra, kağıt-kalem sınavına göre daha çok yorulduğumu hissettim." şeklindeki ifadedir.

3.2. Öğrencilerle Yürütülen Mülakatlardan Elde Edilen Bulgular

Öğrenciler ile yapılan mülakatlarda dört soru sorulmuş ve elde edilen bulgulara aşağıda yer verilmiştir.

3.2.1. Online eğitimin olumlu ve olumsuz yönleri nelerdir?

Öğrenciler uzaktan eğitime yönelik olumlu fikirleri derslere her yerden kolaylıkla ulaşım imkânı sunması (Ö1), istenilen yerde ve zamanda tekrar yapmaya olanak sağlaması (Ö2, Ö3, Ö4), ev gibi rahat bir ortamda derslerin dinlenilebilmesi (Ö3, Ö4), okula gidiş ve gelişte zaman kaybının önüne geçilmesi (Ö4) ve öğretimin elemanı ile etkileşimin yüz yüze derslere göre daha rahat olduğu (Ö5) şeklindedir. Bu konuda bazı öğrencilerin fikirlerine ait alıntılar aşağıdaki gibidir; " *Uzaktan eğitimin iyi yanı evde rahat kafayla ders çalışıyoruz ve okulda yüz yüze yapılan sınavdan oldukça rahat ve daha az stresli*". (Ö3) "*Öncelikle olumlu yönlerinden bahsedecek olursam derslerin kaydedilmesi ile dersi tekrar dinleyebilme olanağımız oluştu. Ders dokümanlarına ulaşmamız daha rahat ve kolay oldu. Ve okula giderken ya da okuldan çıktıktan sonraki geçirdiğimiz boş vakitleri kazanmış olduk.*" (Ö4)

Olumsuz yönleri ise derslerin yüz yüze ortamlar gibi rahat anlaşılmadığı (Ö1, Ö2, Ö3, Ö4) ve internet ve sisteme bağlı yaşanan sorunlar (Ö4, Ö5) şeklindedir. Bu kısımda yer alan bazı öğrencilerin cevaplarına ait alıntılar aşağıdaki gibidir. "*Olumsuz yönlerinden bahsedecek olursam birebir yüz yüze eğitim tabi ki anlama açısından daha etkili oluyor. Yüz yüzeyken kendimizi daha hızlı ve daha iyi ifade edebiliyorduk. Son olarak ta sistemin arada bir çıkardığı sıkıntılar olumsuz yönde etkiliyor*"(Ö4)

3.2.2. Online eğitimden elde edilen kazanımlar nelerdir?

Bu konuda Ö1 öğrencisi yüz yüze eğitimde daha yüksek düzeyde kazanımlar elde edilebileceğini ifade etmiştir. Ö3 öğrencisi kendisine bu eğitimin daha geniş bir perspektif kazandırdığını ve çalışırken de bir bölüm okuyabilme onu anlama fırsatı sunduğunu belirtmiştir. "*Kendi alanımda; harita mühendisliği için cevaplayayım. Daha önce bu bölümün teknikerliğini okudum. Eskiden dersim aynı işi yapıyoruz mühendislerle. Online eğitimle birlikte artık hem teknikerlik yapıyorum hem de harita mühendisliği okuyorum Bu eğitimi aldıktan sonra aslında yaptığımız işin farklı olduğunu gördüm. En azından bakış açısı farklı. Harita teknikerliğinde olaya dar bakıyordum. Ama işin mühendisliğini okuyunca daha geniş perspektiften bakmayı kavradım*." (Ö3). Ö2 ve Ö4 öğrencileri internet ortamını kullanma becerilerinin geliştiğini ancak derslerle ilgili kazanımlarının yeterli olmadığını ve Ö5 öğrencisi ise çevrim içi derslerle daha üst bilişsel düzeyde kazanım elde ettiğini ancak sayısal alanda eksiklerinin olduğunu söylemiştir.

3.2.3. Online sınavlarda dışardan destek aldınız mı?

Bu kısımda yalnızca Ö1 öğrencisi kendisinin kopya çekmediğini ancak arkadaşlarının çektiğini gördüğünü söylemiş, diğer öğrenciler ise herhangi bir destek almadıklarını ifade etmişlerdir. Ö1 öğrencisi "*Sadece bazı formülleri not ediyorum. Soruları kendim çözüyorum. Kopya çekmeyi düşünmedim ancak bir defasında whatsApp grubuna girmiştim. Orada o dersle ilgili sınavda soruların atıldığını sınav anında gördüm. Gruptan çıktım. Sınav sözel bir sınavdı. Zaten notlar elimizde varken en azından o notlardan bakıp cevaplamak varken bunu yapmalarını garipsedim*." şeklinde ifadede bulunmuştur.

3.2.4. Arkadaşların sınav esnasında dışarıdan destek alıyorlar mı?

Bu konuda Ö1 ve Ö3 öğrencileri arkadaşlarının çeşitli vasıtalarla destek aldıklarını gördüklerini belirmiştir. "*Ben alındığını düşünüyorum. Bunu whatsApp gruplarından ve bilgili arkadaşların bir arada çözebilmelerinden yapılacağını düşünüyorum*." (Ö1). Ö2 öğrencisi diğer arkadaşlarından uzakta olduğu için bir fikri olmadığını ve Ö4 ve Ö5 öğrencileri ise arkadaşlarının herhangi bir destek almadıklarını ifade etmişlerdir.

3.3. Öğretim Elemanları İle Yapılan Mülakatlardan Elde Edilen Bulgular

3.3.1. Uzaktan eğitimin olumlu ve olumsuz yönleri nelerdir?

Tüm öğretim elemanları uzaktan eğitimin; zaman ve parasal anlamda karlı olması açısından öncelikli olarak tercih edilebileceğini ifade etmişlerdir. Özellikle de kitap, ulaşım vb. masrafların olmaması tercih edilme nedeninin başında gelebileceğini belirtmişlerdir. Bu konuda ÖE2 "*Uzaktan eğitim, öğrencilere ve öğretim elemanlarına zamandan ve mekândan bağımsız şekilde eğitim alma ve verme imkânı sağlamaktadır. Bu durum her iki tarafın hayatını kolaylaştırır. Bu nedenle tercih edilmelidir*." şeklinde görüşlerini ortaya koymuştur. Yine benzer olarak ÖE4'te "*Genel olarak sözel diyebileceğimiz dersler için öğrenci açısından daha ekonomik olmaktadır. Zaman ve paradan tasarruf sağlanmaktadır.*" ifadelerini kullanmıştır. Bunun dışında ÖE5 öğrencilerine daha fazla zaman ayırdığını, çevrim içi olarak kendileri ile daha rahat ilgilenebildiğini belirtmiştir. "*Normal bir sınıfta bir öğretmenin öğrencisine özel olarak zaman ayırması zordur. Ancak uzaktan eğitim söz konusu olunca yazılımın izin verdiği ölçüde kişiye özel zaman ayrılabilir*". Yine ÖE5 derslerin kolaylıkla ve sık sık tekrar edildiğini ifade etmiştir. "*Uzaktan eğitim öğrencileri derslerini bilinen saatlerde veya diledikleri zaman alabildikleri için bir işte çalışmalarında veya günlük planlarını uygulamalarında bir problem oluşturmamaktadır. Mesafeleri yok ettiği için dünyanın tüm ülkelerinden eğitim alabilir veya eğitim verilebilir.* " (ÖE5) şeklinde uzaktan eğitimin olumlu yönlerini ortaya koymuştur.

Uzaktan eğitim konusunda öğretim elemanları tarafından ifade edilen olumsuz yönlere bakıldığında ise ÖE2 ve ÖE5'in sayısal dersleri anlatmakta zorlandıklarını, ÖE1 ve ÖE3'ün çevrim içi sınavların kopya çekilmesine olanak sağladığını, ÖE4'ün ise ders hazırlıklarının yüz yüze derslere göre daha uzun süre aldığını ifade ettikleri görülmüştür. Bu konuda ÖE2 "U*zaktan eğitim modeli tüm dersler için uygun değildir. Sayısal dersler zaten zor, bir de bunlar sanal ortama taşınınca anlaşılması iyice zorlaşıyor. Yüz yüze derslerde öğrencinin almadığını fark edip anlaşılmayan konuya tekrar dönebiliyorduk. Burada onu göremiyoruz*." Şeklinde uzaktan eğitimin olumsuz yönünden bahsetmiştir. ÖE4 ise "*Yüz yüze anlattığım derslerde ders notlarımı elde yazıyordum ve sınıfa gelince tahtayı kullanarak anlatıyordum. Ancak burada aynı notları bilgisayar ortamına aktarmam gerekiyor. Formülleri bilgisayarda tek tek yazmam gerekiyor. Bu benim çok zamanımı alıyor.*" Olarak uzaktan eğitimin olumsuz yönünü ifade etmiştir.

3.3.2. Uzaktan eğitimde yapılan sınavlar konusunda görüşlerinizi belirtiniz?

Tüm öğretim elemanları öğrencilerin sınavlarda destek alarak soruları çözdüklerini belirtmişleridir. ÖE1 "*Öğrencilerin dışarıdan destek aldıkları aşikâr. Bunu çözmenin tek yolu portfolyo dosyaları ve ödevler verilmesi ancak bu durumda da öğretim elemanının yükü çok artıyor. Onları değerlendirmek gerçekten çok zor*." ÖE5. Bunun dışında öğretim elemanlarından ÖE1 ve ÖE3 çoktan seçmeli sınavı tercih

ettiğin belirtirken, ÖE2 açık uçlu, kısa cevaplı ve boşluk doldurmalı soruları değerlendirmede kullandığını söylemiştir. ÖE2 çevrim içi sınavlarda verilen sürenin yeterliliğinin öğretim elemanları tarafından yeterince kontrol edilemediğini ve kopya çekmeyi engellemek için bitirilen bir soruya tekrar göz atmanın engellendiği, bu durum sonucunda ise sınavlarda öğrencilerin olumsuz etkilendiğini söylemiştir. Öğretim üyelerinin ikisi öğrencilerin dışardan destek almalarının yani kopya olayının önlenebilmesi için sınavların üniversite kampüslerinde yüz yüze yapılması gerektiğini ifade etmişlerdir.

4. Tartışma ve Sonuç

Öğrencilerle yürütülen anket ve mülakatlardan elde edilen veriler değerlendirildiğinde öğrencilerin uzaktan eğitimden memnun olmalarına karşın yaşanan teknik sorunlar ve iletişim problemlerinin bu eğitim sisteminde en fazla karşılaşılan olumsuz durumlar olduğu ortaya çıkmaktadır. Anketin uzaktan eğitimin değerlendirilmesine yönelik bölümü ile ilgili öğrenci görüşleri puan ortalaması (3,1568) orta düzeyde çıkmıştır. Bu durum öğrencilerin uzaktan eğitimle ilgili olarak olumlu görüşleri (dersleri kayıt edip tekrar izleme ve ev ortamında eğitim alma gibi) yanında olumsuz görüşlerinin (ders konularını iyi kavrayamama, teknik problemlerden dolayı derse katılamama ve öğretim elemanı ile iletişime geçememe gibi) de olduğu tespit edilmiştir. Öğrencilerin uzaktan eğitimle ilgili ders değerlendirmesi için uygulanan sınavlar ile ilgili anketin ikinci bölümüne verdikleri cevapların ortalaması 2,9636 dır. Bu değer öğrencilerin uzaktan eğitimin değerlendirilmesine yönelik yapılan uygulamalarla ilgili düşüncelerinin ne çok olumlu nede çok olumsuz olduğunu göstermektedir. Alanda yürütülen çalışmalarda da çevrim içi derslerde benzer sorunların yaşandığı görülmektedir (Akdemir ve Kılıç, 2020). Bu yönüyle uzaktan eğitim özellikle iletişim sorunu yaşayan öğrencilerin daha içlerine kapanık olabilmelerine yol açabileceği düşünülmektedir.

Anket ve mülakat bulgularında öğrencilerin çoğunun sınavlarda ne kadar da dışardan destek almadıklarını söyleseler de dışardan destek aldıklarını diğerlerinin ifadelerinden söylenebilir. Böylece ölçme sonuçlarının öğrencilerin gerçek başarısını göstermediğini söyleyemeyiz. Yürütülen çalışma sonucunda öğretim elemanlarının daha çok geleneksel ölçme araçlarını tercih ettikleri ve ölçme araçlarının kullanımı ile sınavlarda farklı yollardan kopya çekilmeye müsait bir ortamın oluştuğu görülmektedir. Bunu önlemek için üniversite öğretim üyelerinin çoğunluğu sınavların üniversite kampüslerine yüz yüze yapılmasını önermektedir. Tıpkı yüz yüze olan sınavlardaki gibi çevrim içi yürütülen ölçme değerlendirme faaliyetleri de geleneksel yani kâğıt kalem sınavları ve alternatif ölçme değerlendirme araçları olarak iki grupta toplanabilir (Altan ve Seferoğlu, 2009). Ancak yıllarca ölçme değerlendirme faaliyetlerini uzaktan yürüten köklü üniversitelere ait ölçme değerlendirme çalışmaları incelendiğinde bu üniversitelerin hem süreç hem de sonuç değerlendirmeye önem verdikleri görülmektedir (Baran, 2020). Her ne kadar süreç değerlendirmesi daha öznel olarak görülse de birçok üst düzey becerinin ölçülmesinde en önemli kaynaklardan biri olarak görülmektedir. Bu yönüyle öğretim elemanları açısından her ne kadar yüz yüze yürütülen ölçme değerlendirme çalışmalarının değerlendirilmesi kolay gibi gözükse de süreç değerlendirmenin de ölçme değerlendirme faaliyetlerine eklenmesi gerekmektedir.

Kaynaklar

Akdemir, A. ve Kılıç, A. (2020). Yükseköğretim öğrencilerinin uzaktan eğitim uygulamalarına bakışının belirlenmesi, *Milli eğitim dergisi, Salgın sürecinde Türkiye'de ve dünyada eğitim*. 685-712. DOI: 10.37669/milliegitim.783344.

Altan, T. ve Seferoğlu, S.S. (2009). Uzaktan eğitimde değerlendirme süreci: Öğrenci görüşlerinin sistemin gelişimine katkıları. *3 rd International Computer & Instructional Technologies Symposium (ICITS 2009)*. 7-9 Ekim, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon

Çepni, S. (2007). *Araştırma ve Proje Çalışmalarına Giriş*, (Genişletilmiş 3. Baskı.), Trabzon: Celepler Yayıncılık.

Baran, H. (2020). Açık ve uzaktan eğitimde ölçme ve değerlendirme, Öğretmen, *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi AUAd*, 6(1), 28-40.

Durak, G., Çankaya, S. ve İzmirli, S. (2020).Covid-19 pandemi döneninde Türkiye'deki üniversitelerin uzaktan eğitim sistemlerinin incelenmesi. *Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi*, 14(1), 787-809.

Küçükahmet, L. (2003). *Öğretimde planlama ve değerlendirme*, 13. Baskı, Ankara: Nobel Yayıncılık.

Şenkal, O. ve Dinçer S. (2012). Geleneksel Sınıfların Uzaktan Eğitim Platformuna Dönüştürülmesi: Bir Model Çalışması, *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 5(1), 13-17.

Karasar, N. (2007). *Bilimsel Araştırma Yöntemi*, 17. Baskı, Ankara: Nobel Yayınları.

Kaya A. ve Büyükkasap E. (2004). Fizik Öğretmen adaylarının öğretmenlik mesleğine yönelik endişe ve tutumları, *Eğitimde Çağdaş Yaklaşımlar "Bilgi Şöleni"-2 Sempozyumu*, 8 Mayıs, Samsun

Kaya, A. (2003). *Fizik Öğretmenlerinin Hizmet İçi Eğitim İhtiyaçlarına Yönelik Bir Laboratuar Programı Geliştirme ve Model Önerme*. Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Yağcı, M. (2012). *Yeni bir çevrimiçi sınav modeli geliştirilmesi ve kâğıt kalem testleri ile karşılaştırılması.* Doktora tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Yağcı, M., Ekiz, H. ve Gelbal, S. (2015). Yeni Bir Çevrimiçi Sınav Modeli Geliştirilmesi ve Uygulanması. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi*. 16(1), 269-288.

Synthesis and Characterization of the Barium-Titanium-Peroxo-Hydroxide Single Source Precursor

Murat ÖZEN[*1,a]
[1]*Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Chemistry, 16310, Bursa*

Abstract

Single-source precursors are extremely important in the synthesis of phase-pure electroceramics. In this work, a Ba-Ti-peroxo-hydroxide precursor was synthesized with varying parameters and analyzed by XRD, FT-IR, FT-Raman, EPMA, DSC and TGA.

A systematic parameter study showed that ionic salts such as $BaCl_2$ resulted in highly stoichiometric precursors. Continuously stirring of the solution after adding H_2O_2 aided in the dissolution of Ba and Ti-species, and in particular the dissolution of unwanted carbonate species. Strong alkaline reagents such as NaOH and KOH could be used to precipitate the precursor, but the presence of metal ions in the final product could be detrimental for its electrical properties. NH_4OH, on the other hand, could be easily removed from the product by evaporation of NH_3. Increasing the temperature of the precursor solution resulted in the fast polymerization reaction of $Ti(OH)_2^{2+}$ that promoted the formation of TiO_2 instead of the desired $Ba_2Ti_2(O_2)_x(OH)_y$. Hence, low reaction temperatures were ideal for producing stochiometric precursors.

The dried Ba-Ti-peroxo-hydroxide complex was also thermally treated at varying temperatures (400 – 1000˚C) and heating times (0 – 3 hrs). The transition from amorphous precursor to crystalline perovskite $BaTiO_3$ started at 550˚C, which was considerably lower than figures reported in literature. This showed the highly homogeneous nature of the synthesized precursor. It was also concluded that the peroxo groups were tightly bound to Ti and decomposed at around 550˚C. TGA measurements showed distinct transition regions with a total average weight loss of $23.0533 \pm 0.6571\%$. This weight loss coincided extremely well with the theoretical decomposition and crystallization reaction of the precursor. The structure of the precursor was thought to be binuclear with Ba^{2+} ionically bonded to the Ti-peroxo-hydroxide complex with the formula $Ba_2Ti_2(O_2)_2O(OH)_6 \cdot 3H_2O$.

Keywords: Barium Titanate, Peroxo-hydroxide, Precursor

1. Introduction

Single-source precursors are extremely important in the synthesis of phase-pure electroceramics. A single-source precursor can be described as a homogeneous, single-phase, amorphous precursor material that contains all the required cations in the correct ratio(West, 2014). Since the materials are mixed at the molecular level, the single-source precursor method will offer the advantage of producing homogeneous multi-component ceramics. One important method for synthesizing single-source precursors is the use of inorganic oxides and hydroxides by adjusting the pH to form polymeric, multi-cation oxyhydroxyl species. Mühlebach et al.(Mühlebach, Müller, & Schwarzenbach, 1970) provide important information on peroxo complexes of titanium species. In their work, Mühlebach et al. describe the pH ranges at which various titanium peroxo-hydroxide species (mononuclear, binuclear and polynuclear) are formed, provided with the respective analytical data. The peroxo-hydroxide method has been used to produce nanometer-sized electroceramics such as $CaTiO_3$ (Kim & Matijevic, 1994), $(Ba,Zr)TiO_3$ (Byeong Woo Lee & Cho, 2005; Pfaff, 1995), $(Pb,Zr)TiO_3$ (Woo Lee, 2004) and $BaTiO_3$ (B. W. Lee, Kim, & Cho, 2006; Byeong Woo Lee & Cho, 2004; Özen, Mertens, Snijkers, & Cool, 2016). Though peroxo complexes were used, these studies have been occupied describing the transformation of the peroxo-hydroxide precursor into the respective perovskite crystalline state. To the best of the author's knowledge, a detailed study on the various parameters affecting the synthesis of the peroxo-hydroxide precursor has not been reported.

The peroxo-hydroxide single-source precursor is highly advantageous compared to the solid-state method (Faris, Yeoh, Arif, Teh, & Abdullah, 2012) and wet-chemical procedures such as the Pechini method or any other sol-gel method (Chilibon & Marat-Mendes, 2012; Philippot, Elissalde, Maglione, & Aymonier, 2014). These methods are known to result in secondary barium titanate phases with non-uniform products after hydrothermal or thermal treatment. In this study, different reaction parameters such as the stirring time, the precipitation reagent, the reaction temperature, the reaction time, the feedstock concentration, and thermal treatment of the amorphous precipitate will be studied and analyzed by XRD, FT-IR, FT-Raman, EPMA and TGA/DSC.

2. Material and Methods

2.1. Instrumental

FT-Raman spectroscopy measurements were performed on a Nicolet Nexus 670 (Thermo Fisher Scientific Inc) equipped with an InGaAs detector in an 180° reflective sampling configuration and a Nd:YAG 1064 nm laser.

Diffuse Reflectance Infrared Fourier Transform (DRIFT), an FT-IR technique, was measured on a Nicolet FT-IR Nexus (Thermo Fisher Scientific Inc) spectrometer. The samples were grounded and 'diluted' (2 wt%) with KBr, as it is transparent in the 400–4000 cm^{-1} region. Spectra were corrected for CO_2 and H_2O.

Electron probe micro-analysis (EPMA) measurements were conducted on a JEOL JXA-733 superprobe with an acceleration voltage of 25 kV and wire current of 0.1 nA.

Thermal analyses were performed in an alumina crucible on a Mettler Toledo TGA/DSC 3+ equipped with a microbalance and a resolution of 1 μg. Thermal measurements were done in the 30-1000°C region with a heating rate of 5°C min^{-1} under air flow. The temperature sensor has a resolution of 0.01°C.

X-ray diffraction patterns were collected with a Bruker AXS/Discovery D8 diffractometer with Cu-Kα radiation (λ = 0.1540598 nm). A Ni-monochromator was used for powder measurements. The tube voltage and the tube current were set at 40 kV and 40 mA, respectively. The scan step size was 0.02° 2θ with 0.5 seconds per step. ICDD (International Centre for Diffraction Data) XRD reference cards that were referred to in this work are as follows: #01-074-2491 (tetragonal $BaTiO_3$), #01-089-2475 (cubic $BaTiO_3$), #01-071-4900 (witherite $BaCO_3$), #00-021-1276 (rutile TiO_2), #01-085-0476 (monoclinic $BaTi_2O_5$), #01-070-1188 (monoclinic $BaTi_2O_5$), #00-035-0813 (monoclinic Ba_2TiO_4), #00-038-1481 (orthorhombic Ba_2TiO_4). All X-ray diffractograms were normalized.

2.2. Synthesis of the Amorphous Metal Precursor

The general method for preparing a peroxo-hydroxide solution is described elsewhere (Özen et al., 2016). In brief, $TiCl_4$ (99.9%, Sigma-Aldrich) was added to a $BaCl_2 \cdot 2H_2O$ (≥ 99.0%, Merck) solution under vigorous stirring. The barium and titanium concentrations were adjusted so that the barium to titanium ratio amounted to 2 in order to ensure the formation of a 1:1 Ba:Ti stoichiometric product. The total barium-titanium concentration was 0.50 M, unless stated otherwise. Hydrogen peroxide (35%, Merck), with a H_2O_2:Ti ratio of 3, was added dropwise to the solution. The barium-titanium solution complex was stirred (unless stated otherwise) for half an hour and the barium-titanium-peroxo-hydroxide complex was precipitated by the addition of a precipitating reagent until a pH of 10.1 was reached. The solution was additionally stirred for 2 hrs at room temperature (unless stated otherwise). Afterwards, the metal co-precipitate was filtrated with a Buchner funnel and washed three times with demineralized water at room temperature. The co-precipitate was then dried overnight at room temperature and crushed to fine powder with a ceramic mortar.

3. Results and Discussion

3.1. Peroxide Stirring

Addition of the hydrogen peroxide reagent is expected to increase the homogeneity of the solution along with the formation of titanium-peroxo species. The effect of stirring the peroxide solution was tested. The solution was stirred for half an hour in one instance. In another instance, the alkaline precipitating reagent was immediately added after having added H_2O_2. DRIFT and FT-Raman spectra are given in Figure 1 and Figure 2, respectively.

DRIFT spectra of both samples showed, next to the Ti-O-Ba bands, stretching CO vibrations at ~1554 cm^{-1}. FT-Raman spectra showed a distinct decrease in the carbonate band (~1057 cm^{-1}) for the stirred sample (Figure 2a). As the solution was stirred, the acidic environment that was created due to hydrogen peroxide (pH = 1.2) kept the carbonate anions in solution, which were then washed away during the washing procedure. This is backed by EPMA results that showed a distinct difference in the Ba:Ti ratio between the stirred (1.20) and non-stirred (1.55) sample.

XRD was also concurrent with the conclusion that stirring of the solution after adding H_2O_2 aided the dissolution of barium carbonate. Crystalline $BaCO_3$ (witherite) was detected for the non-stirred precursor while no $BaCO_3$ was detected for the stirred precursor (see Figure 3).

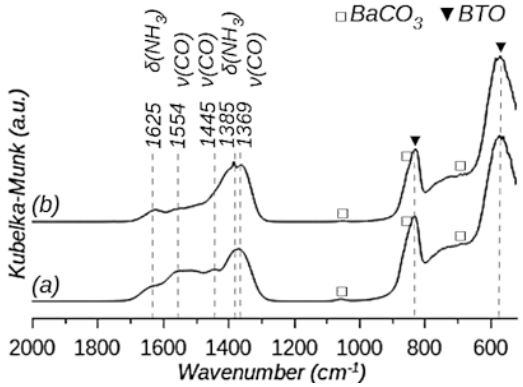


Figure 1. DRIFT spectra of the amorphous precipitates stirred for (a) 0.5 hrs and (b) 0 hrs after adding H_2O_2.

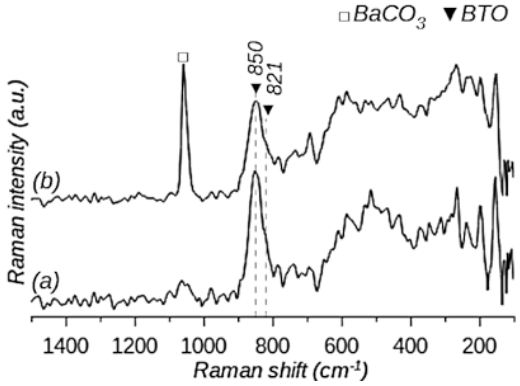


Figure 2. FT-Raman spectra of the amorphous precipitates stirred for (a) 0.5 hrs and (b) 0 hrs after adding H_2O_2.

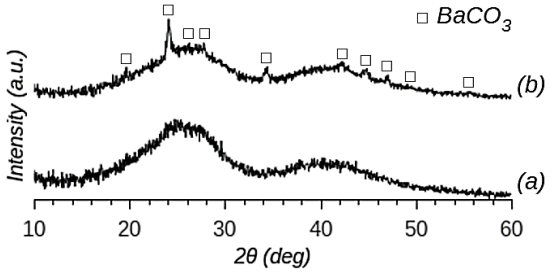


Figure 3. XRD diffractograms of the amorphous precipitates stirred for (a) 0.5 hrs and (b) 0 hrs after adding H_2O_2.

3.2. Precipitating Reagent

Coprecipitation of metal-hydroxides in aqueous solutions is initiated by the solubility change depending on pH (Livage, Henry, & Sanchez, 1988). The barium-titanium-peroxo-hydroxide precursor was precipitated by the addition of a basic precipitating agent. In this study, different reagents with strong alkaline properties were tested, such as NaOH (≥ 97.0%, pellets, Merck), KOH (≤100%, pellets, Acros) and NH_4OH (28-30%, Merck).

Ti-O-Ba vibrational bands were observed in all cases in DRIFT (not shown). Furthermore, carbonate was detected (693 cm^{-1} and 856 cm^{-1}) for all cases except for the precursor precipitated with NaOH at pH 12.

Likewise, $BaCO_3$ bands (~1058 cm^{-1}) were observed in FT-Raman for all cases except for the precursor precipitated with NaOH at pH 12 (Figure 4). Raman bands attributed to the Ba-Ti-peroxo structure at 850 cm^{-1} and 821 cm^{-1} were relatively weaker in the case of NaOH (pH 12), KOH (pH 14) and NH_4OH (pH 10), which meant that, first of all, KOH is not an adequate precipitating reagent and that, second of all, relatively high pH values were necessary for the formation of a proper Ba-Ti-peroxo complex.

The relatively high Ba:Ti ratios for precursors prepared with NaOH-pH 14(1.19), NH_4OH-pH 10(1.55) and NH_4OH-pH 11(1.31) coincided with FT-Raman results that showed, relatively speaking, more intense $BaCO_3$ modes for these samples. The increase in the Ba:Ti ratio was the result of the presence of crystalline $BaCO_3$ that precipitated alongside the amorphous precursor.

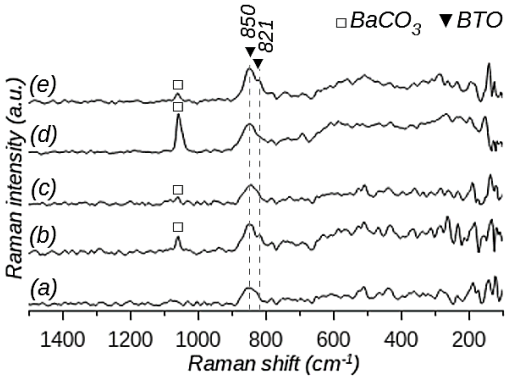


Figure 4. FT-Raman spectra of the amorphous precipitates prepared with different precipitating reagents and pH values: (a) NaOH pH 12, (b) NaOH pH 14, (c) KOH pH 14, (d) NH_4OH pH 10, and (e) NH_4OH pH 11.

3.3. Reaction Temperature

The reaction temperature and the reaction time is expected to have an effect on the condensation-polymerization rate of the peroxo-hydroxide species. The precursor solution was prepared at 20°C (RT), 40°C, 60°C and 80°C. The reaction temperature was altered after having added NH_4OH (pH 10) and the solution was stirred for another 2 hrs.

The carbonate band intensity decreased with increasing reaction temperature in FT-Raman (Figure 5) and the ν(CO) vibrational band intensity (~1554 cm^{-1}) in the DRIFT spectra increased with increasing reaction temperature (Figure 6). This showed that carbonate groups were actually incorporated in the precursor structure with increasing reaction temperature. However, at a reaction temperature of 80°C the precursor structure was completely destroyed. This was evident from the disappearance of Ba-O-Ti vibrational bands at ~570 cm^{-1} and ~810 cm^{-1}, and the appearance of a broad band at ~600 cm^{-1} (Ti-O bonds) in DRIFT Figure 6a). The disappearance of Ba-O-Ti bands at 821 cm^{-1} and 850 cm^{-1} in FT-Raman (Figure 5a) also lead to a similar conclusion; the Ba-O-Ti precursor structure was completely destroyed at 80°C.

The decreasing Ba:Ti ratio (see Table 1) with increasing reaction temperature confirmed the conclusion made from FT-Raman and DRIFT measurements that at higher temperatures Ti-O-Ti condensation was promoted and less barium ions were co-precipitated with the Ti-complex.

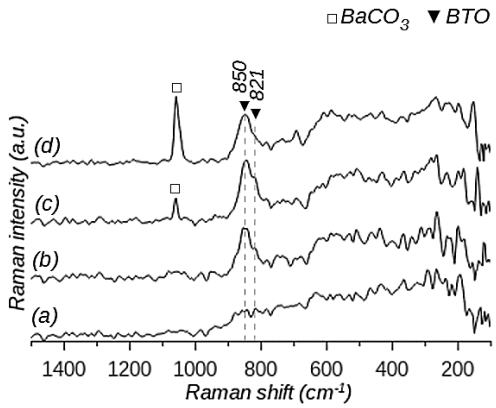


Figure 5. FT-Raman spectra of the amorphous precipitates prepared at: (a) 80˚C, (b) 60˚C, (c) 40 ˚C, and (d) 20˚C.

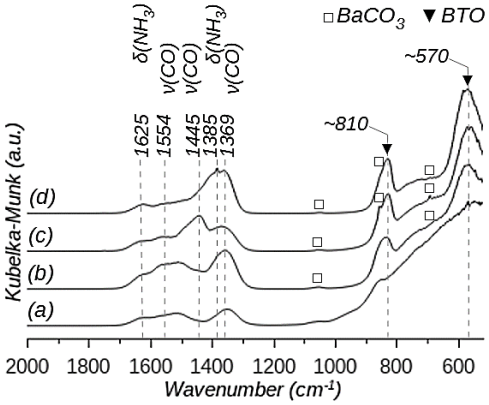


Figure 6. DRIFT spectra of the amorphous precipitates prepared at: (a) 80˚C, (b) 60˚C, (c) 40 ˚C, and (d) 20˚C.

Table 1. Ba:Ti ratios of the amorphous precipitates prepared at varying temperatures.

	Reaction Temperature	EPMA Ba:Ti
(a)	80°C	0.38
(b)	60°C	0.80
(c)	40°C	1.15
(d)	20°C	1.55

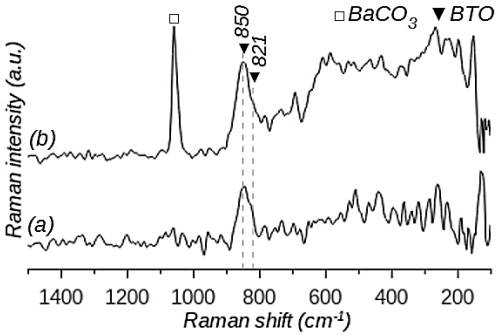


Figure 7. FT-Raman spectra of the amorphous precipitates stirred for: (a) 24 hrs, and (b) 0 hrs.

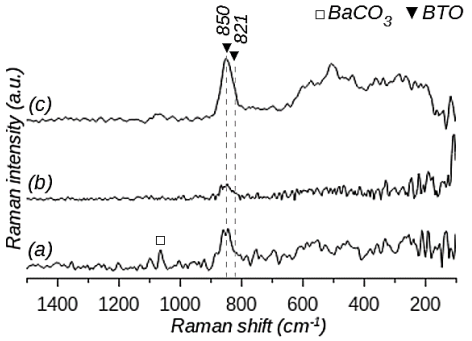


Figure 8. FT-Raman spectra of the amorphous precipitates prepared with a [Ba]+[Ti] total molar concentration of: (a) 0.025 M, (b) 0.050 M, and (c) 0.100 M.

3.4. Reaction Time

The reaction time of the solution, after having added NH_4OH was varied and the solution was stirred for 2 hrs and 24 hrs.

It became immediately clear that increasing the reaction time eliminated $BaCO_3$ (see the sharp Raman mode at 1058 cm^{-1} in

Figure **7**). The Ba:Ti ratio was 1.22 for the sample stirred for 24 hrs. In contrast, the Ba:Ti ratio was 1.55 for the sample stirred for only 2 hrs. However, carbonate was still detected in the precursor at 694 cm^{-1} and 856 cm^{-1} in DRIFT (not shown here), which meant that during the precipitation step carbonate anions were incorporated in the precursor structure, probably in the form of a NH-CO complex (Gal'perin & Finkel'shtein, 1972). This was concluded from the relatively intense DRIFT band at 1445 cm^{-1} which encompasses a broad region up to ~1520 cm^{-1}. This region was attributed to bending N-H and stretching C-O vibrations (Gal'perin & Finkel'shtein, 1972; Socrates, 2004).

3.5. Feedstock Concentration

The feedstock concentration ([Ba]+[Ti]) was varied from 0.025 M to 0.100 M. Ba-O-Ti vibrational bands were observed in DRIFT (not shown here) at 573 cm^{-1} and 813 cm^{-1} in all cases. The Raman mode for $BaCO_3$ (~1058 cm_{-1}) was observed for 0.025 M (

Figure **8**), but disappeared for higher feedstock concentrations. However, the relative intensity of the stretching CO vibrational band at 1554 cm^{-1} increased with increasing feedstock concentration. This showed that a higher feedstock concentration introduced more carbonate anions originating from $BaCO_3$, a common contaminant introduced by the barium source.

On the other hand, the region between 200 cm^{-1} and 700 cm^{-1} in the FT-Raman spectra was more pronounced for the precursor prepared with a feedstock concentration of 0.100 M. This might be indicative of barium titanate crystallite formation.

3.6. Thermal Analysis

TGA, DTG and DSC measurements of the precursor prepared according to the procedure described under section 2.2 is shown in Figure 9. Three regions were observed here: 1) 25–250°C due to molecular water evaporation, 2) ~250-525°C due dehydroxylation, and 3) 525-825°C due to decomposition of the peroxo group followed by the crystallization of the amorphous precursor into $BaTiO_3$. The slight weight loss at about ~450°C was attributed to condensation of hydroxyl groups, which is evident from the steep endothermic character. Right after this, an exothermic spike was observed at 650-730°C which indicated the decomposition of the peroxo groups. Another exothermic spike was observed at 730-930°C due to crystallization into $BaTiO_3$.

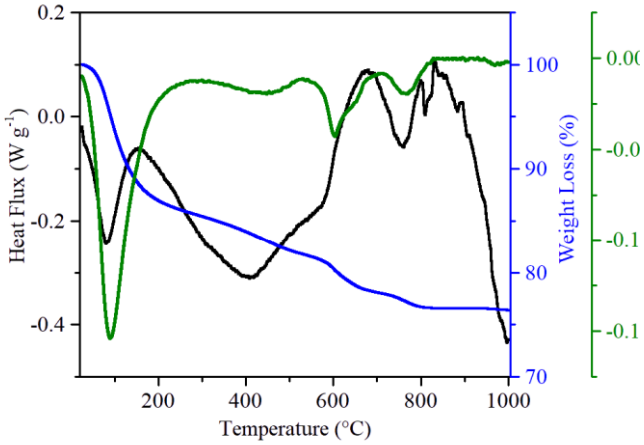


Figure 9. DSC, TGA and DTG measurements performed in air of the amorphous precursor synthesized according to the standard procedure described under section 2.2.

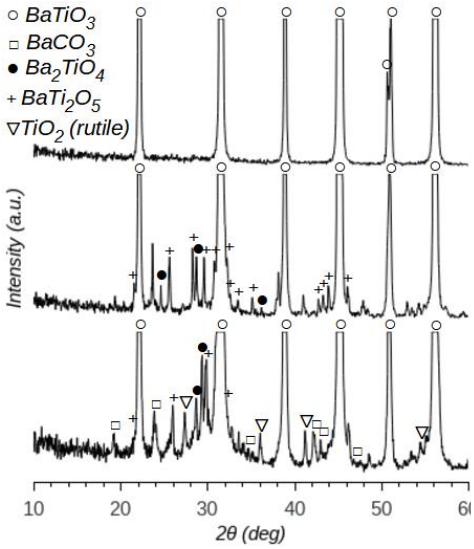


Figure 10. XRD of the amorphous precursor synthesized according to the standard procedure described under section 2.2 and heated (5˚C min^{-1}) at: (a) 650˚C, (b) 900˚C, and (c) 1080˚C for 1 hr. ($BaTiO_3$ lines were cut off for the sake of clarity.)

Secondary phases such as $BaCO_3$ (witherite), TiO_2 (rutile), Ba_2TiO_4, and $BaTi_2O_5$ were observed in XRD (Figure 10) for the precursor that was heated from room temperature to 650°C. The XRD of the precursor that was heated to 900°C revealed the presence of Ba_2TiO_4 and $BaTi_2O_5$ phases, alongside the primary $BaTiO_3$ phase. Heating the precursor to 1080°C gave a phase pure $BaTiO_3$ product. These results inferred that $BaTiO_3$ formation proceeded via secondary barium titanate phases, i.e. Ba_2TiO_4 and $BaTi_2O_5$.

Though $BaTi_2O_5$ is stable up to ~1120°C in air for Ti-rich $BaTiO_3$-TiO_2 systems (S. Lee, Randall, & Liu, 2007; Soon il, 2006) the formation of $BaTiO_3$ was kinetically favored above 900°C.

4. Conclusion

The synthesis of high quality, phase-pure advanced ceramics will primarily depend on the precursor material and the fabrication method used for producing the ceramic material. In this work, the peroxo-hydroxide amorphous precursor was discussed and various synthesis parameters were studied. Preliminary findings suggest that low synthesis temperatures, relatively short reaction times, the use of ammonium hydroxide as the precipitating reagent, a high peroxide concentration with moderate stirring time, relatively low feedstock [Ba]+[Ti] concentration is ideal for the synthesis of a stoichiometric and stable barium-titanium-peroxo-hydroxide precursor.

Literature on titanium complexes, especially Ti-oxyperoxo complexes, suggests binuclear or even tetranuclear titanium complexes (Mühlebach et al., 1970; Kakihana, Kobayashi, Tomita, & Petrykin, 2010). Thermal analysis by TGA/DSC alongside elemental analysis (EPMA) confirm the 1:1 Ba:Ti ratio and the oxo-peroxo nature of the amorphous precursor with 1 to 3 water molecules (hydrates) per mole precursor. The amorphous precursor was proposed by different researchers (Byeong Woo Lee & Cho, 2005; Livage et al., 1988) to be binuclear with the formula $Ba_2Ti_2(O_2)_2O(OH)_6{\cdot}xH_2O$, but, as far as the author's knowledge, a systematic characterization study accompanied by computational data seems to be lacking. Preliminary DFT calculations back up the notion that peroxo groups are sideways connected in a η^2 fashion with at least one oxo bridging group between two central titanium ions.

Future studies will be focused on the detailed IR and Raman studies of the precursor solution prepared at different pH values in order to systematically analyze the different pH dependent Ti-complexes, such as $Ti(O_2)(OH)^+$, $Ti_2O_5(OH)^+$, $Ti_2O_5(OH)_3^-$, and $Ti_2O_5(OH)_6^{4-}$. Single-crystals of the barium-titanium-peroxo-hydroxide complex will be isolated and analyzed also, and results will be matched with DFT calculations.

Acknowledgement

This work has been performed within a project supported by the Scientific Research Projects Fund (BAP) from Bursa Technical University with project number BAP-181N07. The author would also like to thank the following for their valuable contributions; Prof. Dr. Pegie Cool from LADCA, University of Antwerp (FT-Raman, DRIFT, TGA/DTA), MiTAC from the University of Antwerp (EPMA), and MERLAB, Bursa Technical University (XRD). The author thanks the editors and referees for their contributions during the review and evaluation phase of the article.

References

Chilibon, I., & Marat-Mendes, J. N. (2012). Ferroelectric ceramics by sol–gel methods and applications: A review. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, *64*(3), 571–611. doi: 10.1007/s10971-012-2891-7

Faris, M. A., Yeoh, C. K., Arif, W. M., Teh, P. L., & Abdullah, N. (2012). The Effect of Stoichiometry to the Phase Formation of Barium Titanate. *Advanced Materials Research*, *620*, 198–202. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.620.198

Gal'perin, V. A., & Finkel'shtein, A. I. (1972). Infrared spectra of ammonium carbamate and bicarbonate. *Journal of Applied Spectroscopy*, *17*(3), 1176–1178. doi: 10.1007/BF00607771

Kakihana, M., Kobayashi, M., Tomita, K., & Petrykin, V. (2010). Application of Water-Soluble Titanium Complexes as Precursors for Synthesis of Titanium-Containing Oxides via Aqueous Solution Processes. *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, *83*(11), 1285–1308. doi: 10.1246/bcsj.20100103

Kim, M. J., & Matijevic, E. (1994). Preparation of Uniform Submicrometer Particles of Calcium Titanate and Lead Niobate by Replacement Reactions. *Journal of the American Ceramic Society*, *77*(7), 1950–1953. doi: 10.1111/j.1151-2916.1994.tb07076.x

Lee, B. W., Kim, H. K., & Cho, S. B. (2006). Hydrothermal Preparation of $BaTiO_3$ Powders from Modified Hydroxide Precursors. *Ferroelectrics*, *333*(1), 233–241. doi: 10.1080/00150190600701319

Lee, Byeong Woo, & Cho, S.-B. (2004). Hydrothermal Preparation and Characterization of Ultra-Fine $BaTiO_3$ Powders from Amorphous Peroxo-Hydroxide Precursor. *Journal of Electroceramics*, *13*(1–3), 379–384. doi: 10.1007/s10832-004-5129-4

Lee, Byeong Woo, & Cho, S.-B. (2005). Preparation of $BaZr_xTi_{1-x}O_3$ by the hydrothermal process from peroxo-precursors. *Journal of the European Ceramic Society*, *25*(12), 2009–2012. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2005.03.005

Lee, S., Randall, C. A., & Liu, Z.-K. (2007). Modified Phase Diagram for the Barium Oxide-Titanium Dioxide System for the Ferroelectric Barium Titanate. *Journal of the American Ceramic Society*, *90*(8), 2589–2594. doi: 10.1111/j.1551-2916.2007.01794.x

Livage, J., Henry, M., & Sanchez, C. (1988). Sol-gel chemistry of transition metal oxides. *Progress in Solid State Chemistry*, *18*(4), 259–341. doi: 10.1016/0079-6786(88)90005-2

Mühlebach, J., Müller, K., & Schwarzenbach, G. (1970). Peroxo complexes of titanium. *Inorganic Chemistry*, *9*(11), 2381–2390. doi: 10.1021/ic50093a001

Özen, M., Mertens, M., Snijkers, F., & Cool, P. (2016). Hydrothermal synthesis and formation mechanism of tetragonal barium titanate in a highly concentrated alkaline solution. *Ceramics International*, *42*(9), 10967–10975. doi: 10.1016/j.ceramint.2016.03.234

Pfaff, G. (1995). A novel reaction path to barium zirconates by the decomposition of peroxide precursors. *Materials Letters*, *24*(6), 393–397. doi: 10.1016/0167-577X(95)00122-0

Philippot, G., Elissalde, C., Maglione, M., & Aymonier, C. (2014). Supercritical fluid technology: A reliable process for high quality $BaTiO_3$ based nanomaterials. *Advanced Powder Technology*, *25*(5), 1415–1429. doi: 10.1016/j.apt.2014.02.016

Socrates, G. (2004). *Infrared and Raman Characteristic Group Frequencies: Tables and Charts* (3rd ed.). West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd.

Soon il, L. (2006). *Defect-phase Equilibrium and Ferroelectric Phase Transition Behavior in Non-stoichiometric Barium Titanate Under Various Equilibrium Conditions* (PhD dissertation). The Pennsylvania State University, Department of Materials Science and Engineering.

West, A. R. (2014). *Solid State Chemistry and its Applications* (2nd ed.). New York: John Wiley & Sons.

Woo Lee, B. (2004). Synthesis and characterization of compositionally modified PZT by wet chemical preparation from aqueous solution. *Journal of the European Ceramic Society*, *24*(6), 925–929. doi: 10.1016/S0955-2219(03)00428-X

Sanayideki Tesislerde Enerji Verimliliği

Ceren ULU[1], İrem DÜZDAR ARGUN[1,*]
[1]*Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce*

Öz

Dünyada teknolojinin de gelişmesiyle enerjiye olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Dolayısıyla petrol, doğalgaz gibi enerji rezervleri her geçen gün daha çok harcanmakta, tükenmeye yüz tutmaktadır. Hem dünyanın korunması, hem maliyetlerin azalması için enerji kaynaklarımızı verimli kullanmamız gerekmektedir.

Sanayi sektörü enerji varlığınca büyüyen bir yapıdır ve yüksek seviyede enerji tasarruf potansiyeline sahiptir. Türkiye'de enerjinin çoğu sanayi sektörü tarafından kullanmakta, bu nedenle enerji verimliliği çalışmalarında sanayiye öncelik verilmesi gerekmektedir.

Araştırmanın temel amacı sanayideki tesislerde yapılan ve yapılabilecek enerji verimlilik çalışmalarının araştırılmasıdır. Çalışmada Bayes ağları kullanılmıştır. Bayes Ağları, rassal değişkenleri ve değişkenler arası ilişkileri açıklayan bir modeldir. Karmaşık ilişkileri açıklamakta kullanabilecek kolay ve anlaşılır bir yöntem olduğundan Bayes Ağları bu araştırma çerçevesinde kullanılabilecek uygun bir yöntemdir. Yapılan literatür araştırması sonucu tesislerde kaynaklar, enerji verimliliğinin darboğazları ve çözüm alternatifleri sunulmuş, Bayes Ağı kurarak değişkenler arası ilişkiler açıklanmış, olası senaryo belirlenmiştir. Daha sonrasında bazı parametrelerin etkisini gözlemleyebilmek adına duyarlılık analizleri yapılmıştır.

Çalışma sonucunda enerji kaynaklarını verimli kullanarak tasarruf edilmesi sağlanacaktır. Bu sayede gelecek nesillere daha fazla enerji kaynağı bırakılmış, tesislerin de maliyetleri azaltılmış olacaktır.

Anahtar kelimeler: Enerji, Enerji Verimliliği, Sanayi

1. Giriş

Dünyada her geçen gün artan tüketimle birlikte doğalgaz, petrol, kömür gibi enerji kaynaklarımız sürekli azalma eğilimindedir. Bunun yanında fosil yakıtların kullanım sürecinde oluşan sera gazının atmosfere salınması küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Dünyanın korunması amacı ve ülkelerin kalkınmaları için temel unsurlardan birinin enerji olması, enerji kullanımının önemini vurgulamaktadır (Karyeyen, 2021).

Tesislerde verimsiz enerji kullanılması da maliyet artışına neden olmaktadır. Enerjinin yaklaşık %70'inin ithal olarak kullanıldığı, her yıl ortalama enerji tüketiminin %5 artış gösterdiği ülkemizde enerji harcanması fazla miktarda cari açığa sebep olmaktadır (Çınar, 2008). Türkiye'de birincil enerjini %24'ü, elektrik enerjisinin ise %47'si sanayi sektöründe harcanmaktadır (Yıldız vd., 2018). Enerji Verimliliğine (EV) bu açıdan bakıldığında, sanayide enerji verimliliği çalışmaları önemli ve öncelikli bir konumdadır.

Ülkemizde enerji verimliliği çalışmaları her geçen gün artarken sanayi sektöründe yapılan enerji verimliliği çalışmaları ülkemiz için önemini arttırmaktadır. Sanayi içinde makinelerinin verimli kullanımı, tüketimde kayıpların dikkate alınıp azaltılması, enerji dönüşümü sağlanması gibi çalışmalar yapılarak verimlilik sağlanmalıdır. Enerji verimliliği için yapılabilecek çalışmalar çok sayıda olabileceği gibi yüksek maliyet de oluşturabilir. Bu durumda her değişkenin işletmeye etkisini belirleyerek en iyi tercihin yapılabilmesi için en uygun yöntem Bayes Ağlarıdır (BA) (Keskin, 2013). BA karmaşık ilişkilerin birbirine bağlı olasılıklarla nasıl değiştiğini gösteren bir yöntemdir. Bu da ilişkilerin kolayca incelenmesine yardımcı olur.

Sanayileşme ve hızla artan nüfusla birlikte topumun ihtiyaçlarını karşılayabilmek için enerji talebi her geçen gün artmaktadır. Bu enerji talebini karşılayacak kaynaklar yavaş yavaş azalmaktadır. Enerjide dışa bağımlı ülkemizin verimlilik açısından yapacağı çalışmalar teknoloji gelişmesi ve nüfus artışıyla birlikte değerini arttırmaktadır. Bu bağlamda kurumların ve sanayi firmalarının enerji verimliliğine katkıda bulunmaları gerekmektedir.

2. Analitik Yöntemler / Materyal ve Metot / Gereç ve Yöntem

2.1. Bayes Ağları

İnanç ağları olarak da bilinen Bayes Ağları bir tür olasılıksal grafik modelidir. Birbirine koşulsal olasılıklarla bağlı rassal değişkenleri modellemeye yarayan bir araçtır. Çevrim olmayan, tek yönlü bir diyagramdır.

Bayes ağları, önceden yaşanan olaylar üzerine sonradan yaşanabilecek olaylar hakkında tahmin yürütmeye yarayan bir yöntemdir. Bayes Teoremi üzerine inşa edilmiştir. Kısacası Bayes Ağları belirlenen değişkenler arasındaki ilişkileri grafiksel ve olasılıksal gösterimle açıklamaya yarayan bir modeldir (Yıldız vd., 2018).

Karmaşık olayların birbiriyle bağlanmasını ve kolaylıkla incelenmesine yardımcı olur.

Yapılan araştırmada veriler Bayes Ağı ile modellenerek olası çözüm yolları araştırılmıştır.

2.2. Bayes Teoremi

Bayes Teoremi birbiri ile ilişkili olasılıkları ifade etmeye yarayan bir ifadedir. Bayes hesaplamalarında kullanılan temel kavram " koşullu olasılık" tır. Matematiksel ifadesi (Keskin, 2013):

$$P(A/B)=\frac{P(B/A)*P(A)}{P(B)} \quad (1)$$

P(A): A olayının gerçekleşme olasılığı
P(B): B olayının gerçekleşme olasılığı
P(A/B): B olayı gerçekleştiğinde A olayının gerçekleşme olasılığı
P(B/A): A olayı gerçekleştiğinde B olayının gerçekleşme olasılığı

2.1.2. Bayes Ağı Yapısı (Dereli, 2013)

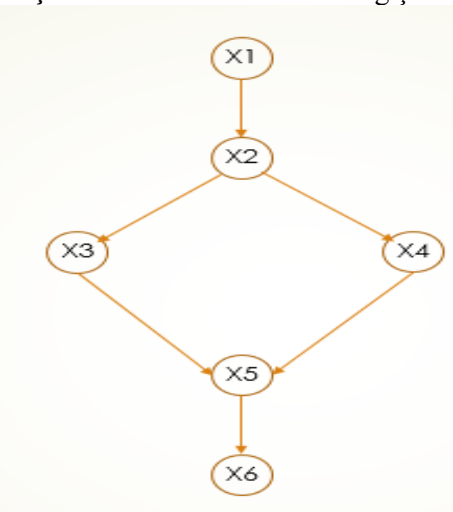
Bayes Ağları 3 kısımdan oluşur: düğümler, oklar, koşullu olasılık tabloları.

Düğümler: Raslantı değişkenlerini ifade eder. 4 adet düğüm çeşidi vardır:

i. Çocuk Düğüm: Kendisine ok yönlendirilmiş düğümlerdir.
ii. Yaprak Düğüm: Kendisinden hiç ok çıkmayan çocuk düğümlerdir.
iii. Ebeveyn Düğüm: Okların kendilerinden çıktığı düğümlerdir.
iv. Kök Düğüm: Kendisine hiç ok yönlendirilmemiş düğümlerdir.

Oklar: Koşullu olasılıkların birbirine bağımlılıklarını gösterir.

Koşullu Olasılık Tabloları: Değişkenlerin olasılık tablolarını ifade eder.



Şekil 1. Bayes Ağ Yapısı (Albayrak, 2019)

Şekilde görülen x_1 düğümüne hiç ok yönlendirilmemiş, bu nedenle bu düğüm kök düğümdür. x_6 düğümü kendisinden hiç ok çıkmadığı için yaprak düğümdür. Aynı zamanda x_1'in çocuk düğümü x_2, x_2'nin çocuk düğümleri x_3 ve x_4 , x_3 ve x_4'ün çocuk düğümü x_5, x_5'in çocuk düğümü ise x_6'dır.

3. Bulgular / Bulgular ve Tartışma

3.1. Literatür Araştırması

Akçaoğlu, bir çamaşır makinesi fabrikasındaki darboğazların çözülmesi için değer akış haritalama tekniği kullanmış, BA yöntemiyle çeşitli senaryolar kurmuş ve darboğazlara çözüm yolları aramıştır. Çalışmada serigrafi alanındaki darboğazın çözümü için malzemede değişiklik yapılması, süreçlerde değişiklik yapılması, üretim yalınlaştırma çalışmaları yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Akçaoğlu, 2012).

Albayrak çalışmasında fabrikada yapılabilecek enerji verimlilik çalışmalarıyla ilgili uzmanlarla görüşmüş, fikirlerini almıştır. Yalın üretim kapsamında işlenen bu konu hakkında kaynaklar, darboğazlar ve çözüm için alternatifler sunulmuştur. Bütçe, pazar payı, ekipman, kalite gibi kaynaklar; yeni makine alımı, makine verimliliği arttırma gibi çözüm alternatifleriyle işletme darboğazlarına çözümler bulmaya çalışmışlardır. Bunlar arasında bir ilişki kurulmuş ve durumların olasılık değerleriyle Bayes ağı kurmuştur. Çıkan sonuçlardan senaryolar kurulmuş ve yapılabilecek verimlilik çalışmaları ortaya konmuştur. En iyi çözümün makine verimliliği arttırmak olacağını ortaya koymuştur (Albayrak, 2019).

Karyeyen ve diğerleri yaptıkları çalışmada Konya sanayisi içindeki çeşitli alanlarda yapılan enerji verimliliği çalışmaları araştırılarak geliştirilmesi öngörülmüştür. Yapılan araştırmalar üzerine fırınların tam kapasite çalışmasını ve fabrikalarda enerji verimliliği hakkında çalışanları bilinçlendirmeyi önermiştir (Karyeyen, 2012).

Dereli, oyun konsolları sektöründe konumlandırma analizi üzerine bir çalışma gerçekleştirmiştir. Çalışmada Bayes Ağlarını kullanarak senaryolar kurmuştur. Senaryolar arasında en dikkat çekici ortak nokta fiyatları sabit tutma kararı olduğu gözlenmiştir. Bu karar dışında fiyat arttırma kararında kalite ve güvenilirlik algısı olumlu yönde etkilenirken, ulaşılabilirlik olumsuz yönde etkilenmiştir. Başka bir yönden bakacak olursak fiyat azaltma kararıyla birlikte diğer algı düzeylerinde düşüş gözlemlenirken, ulaşılabilirlik algısında artış gözlemlenmiştir. Aynı zamanda şartların iyileşmesi halinde reklam kampanyasına yönelik kararların, şartların kötüleşmesi halinde promosyon ve kampanya geliştirme kararlarının ön plana çıktığı gözlenmiştir (Dereli, 2013).

Keskin, çalışmasında şekillendirilmiş kaplı yonga imalatı yapan bir işletmeyi ele almıştır. İşletmede enerji verimliliğini etkileyen etkenler belirlenmiştir. Bunlar hatalı üretim, değer yaratmayan enerji kullanımı, fazla üretim gibi darboğazlardır. Bayes ağları oluşturulmuş, senaryolar ortaya konmuştur. Yapılan çalışmada enerji verimliliğini arttırmanın en iyi yolunun teknoloji iyileştirmeleriyle oluşacağı sonucuna varılmıştır (Keskin, 2013).

3.2. Uygulama

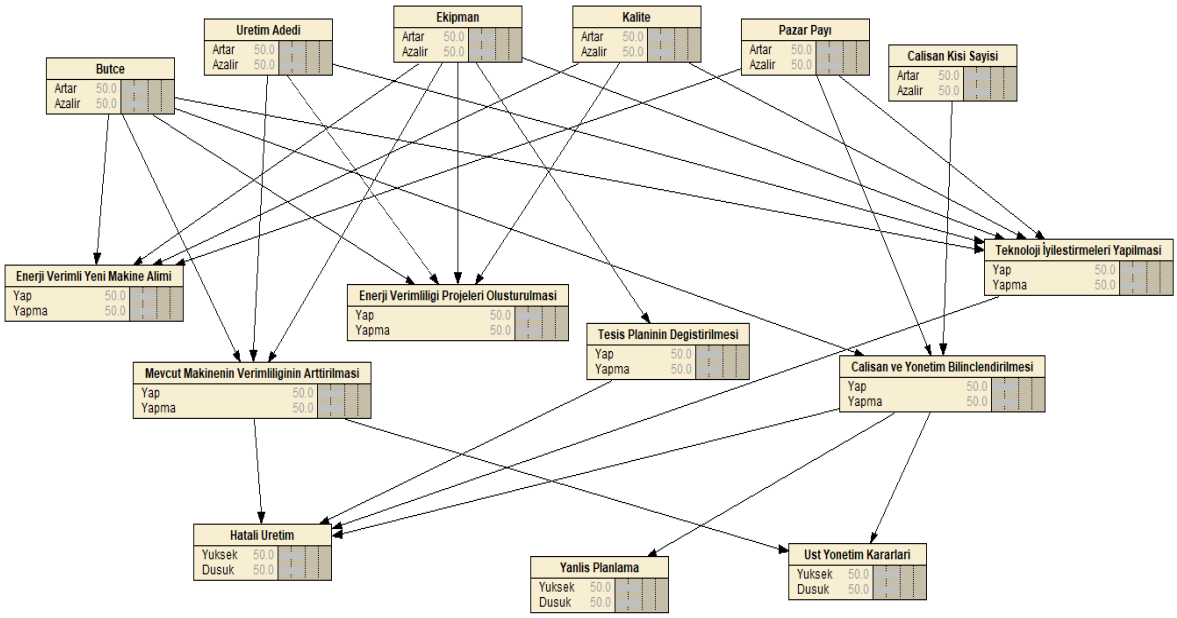
Bu çalışmada yapılan literatür araştırması üzerine tesislerdeki işletme kaynakları, enerji verimliliği üzerine oluşabilecek darboğazlar ve bu darboğazlara uygun çözüm alternatifleri bulunmuştur. Bulunan değişkenlerin birbirleriyle ilişkilerini elde etmek için uzmanlardan doldurulması istenen ilişki matrisleri üzerine Netica programında Bayes Ağı kurulmuş ve yine uzmanlardan doldurulması istenen olasılık tabloları anketleriyle değişkenlerin koşullu olasılık değerleri ortalamaları programa aktarılmıştır. Belirlenen kaynaklar, darboğazlar ve çözüm alternatifleri aşağıdaki gibidir:

Kaynaklar: Bütçe (Akçaoğlu, 2012; Albayrak, 2019), üretim adedi (Albayrak, 2019), ekipman (Akçaoğlu, 2012, Albayrak, 2019), kalite (Akçaoğlu, 2012; Albayrak, 2019), pazar payı (Akçaoğlu, 2012; Albayrak, 2019), çalışan kişi sayısı (Albayrak, 2019).

Darboğazlar: Hatalı üretim (Keskin, 2013), yanlış planlama yapılması, üst yönetim kararları.

Çözüm alternatifleri: Yeni makine alımı (Akçaoğlu, 2012; Albayrak, 2019), makine verimliliği arttırma (Albayrak, 2019), enerji verimliliği projeleri oluşturma (Albayrak, 2019), tesis planının değiştirilmesi, çalışan ve yönetim bilinçlendirme (Albayrak, 2019), teknoloji iyileştirmeleri yapılması (Keskin, 2013).

Değişkenler belirlendikten sonra ilişki matrislerinden yararlanılmıştır. Kaynaklar- çözüm alternatifleri ve çözüm alternatifleri- darboğazlar ilişki matrisleri oluşturulmuş, uzmanlardan ilişkileri belirlemeleri için yardım istenmiştir. Matrisler değerlendirilirken üç durum söz konusudur. Durum "1" olduğunda satırdaki parametre arttığında sütundaki parametre de artar; durum "-1" olduğunda satırdaki parametre arttığında sütundaki parametre azalır; durum "0" olduğunda satırdaki parametre artarsa sütundaki parametre etkilemez. Yani "1" doğru orantıyı, "-1" ters orantıyı, "0" ise parametreler arası ilişki olmadığını ifade etmektedir (Keskin, 2013). Belirlenen ilişkilerle değişkenlerin Netica adlı programa girilmiş hali Şekil 2'deki gibidir.



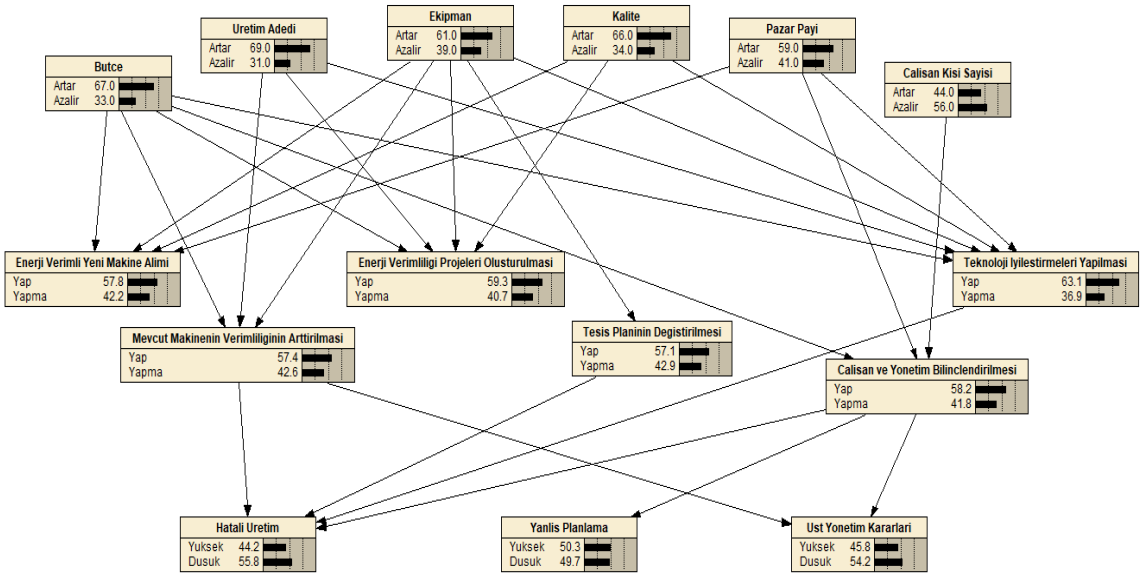
Şekil 2. Bayes Ağı Gösterimi

Çalışmanın sonraki aşamasında olasılık tablolarının 5 uzman tarafından doldurulması istenmiştir. Kaynaklar- çözüm alternatifleri ve darboğazlar- çözüm alternatifleri olmak üzere iki adet tablonun birbirleriyle ilişkileri olasılıklarla açıklanması istenmiştir. Kaynakların artma-azalma, darboğazların çözülme olasılığının düşük- yüksek ve çözüm alternatiflerinin yapılma- yapılmama olasılıkları uzmanlar tarafından doldurulmuştur.

3.2.1. Senaryo Analizi

3.2.1.1. Güncel Durum Senaryosu

Anket sonu elde edilen olasılık değerleri Netica' ya girilmiştir. Anket sonucu elde edilen BA yapısı güncel durumu ifade etmektedir. Olasılıkların programa girilmiş hali Şekil 3'te gösterilmektedir.



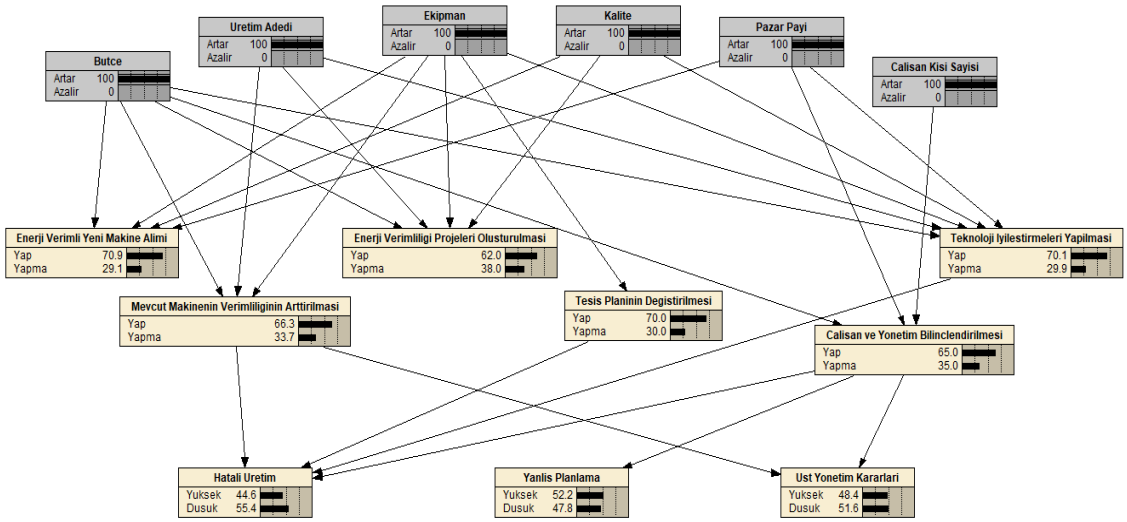
Şekil 3. Güncel Durum Senaryosu

Güncel durum senaryosunda yap olasılığı en yüksek olan çözüm alternatifi teknoloji iyileştirmeleri, en düşük olan çözüm alternatifi ise tesis planının değiştirilmesidir.

Çözüm beklentisi en yüksek olan darboğazın ise yanlış planlama olduğu görülmektedir.

3.2.1.2. En İyi Durum Senaryosu

En iyi durum senaryosu oluşturmak için tüm kaynak değişkenlerinin artar olasılıkları %100 yapılmıştır. Bu durumda oluşan olasılıklar aşağıdaki Şekil 4'te gösterilmektedir.

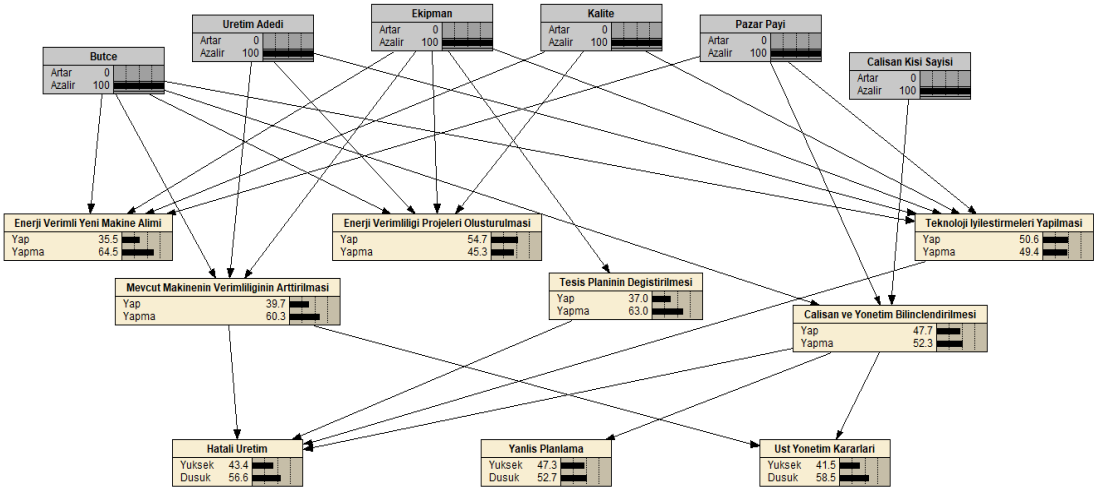


Şekil 4. En İyi Durum Senaryosu

En iyi durum senaryosunda çözüm alternatifleri arasında en fazla değişim EV yeni makine alımında görülürken, en yüksek yap olasılığına sahip çözüm alternatifi de EV yeni makine alımı olarak görülmektedir. Darboğazların her birinin çözüm beklentisi yüksek olasılığı artarken, en fazla çözüm beklentisi yüksek olasılığa sahip darboğaz ise yanlış planlama olarak görülmektedir.

3.2.1.3.En Kötü Durum Senaryosu

En iyi durum senaryosu oluşturmak için tüm kaynak değişkenlerinin azalır olasılıkları %100 yapılmıştır. Bu durumda oluşan olasılıklar aşağıdaki Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. En Kötü Durum Senaryosu

En kötü durum senaryosunda en fazla değişim yine EV yeni makine alımı olarak görülmektedir. En yüksek yap olasılığına sahip çözüm alternatifi EV projeleri oluşturulması, en düşük yap olasılığına sahip çözüm alternatifi ise EV yeni makine alımı olarak görülmektedir.

Darboğazlardan en yüksek çözüm beklentisi yüksek olasılığı yanlış planlamada, en düşük çözüm beklentisi yüksek olasılığı ise üst yönetim kararlarında görülmektedir.

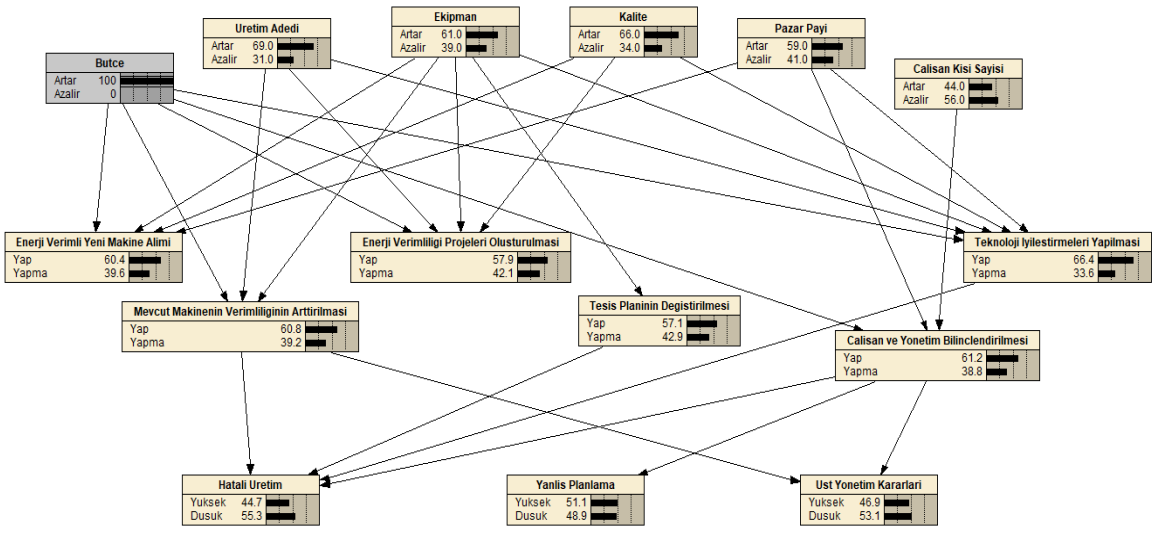
3.2.2. Duyarlılık Analizi

Çalışmanın bu aşamasında bazı parametrelerin etkisini gözlemleyebilmek adına duyarlılık analizi yapılmıştır. Duyarlılık analizi yapılacak parametreler bütçe, çalışan/ yönetim bilinçlendirme ve hatalı üretim olarak belirlenmiştir.

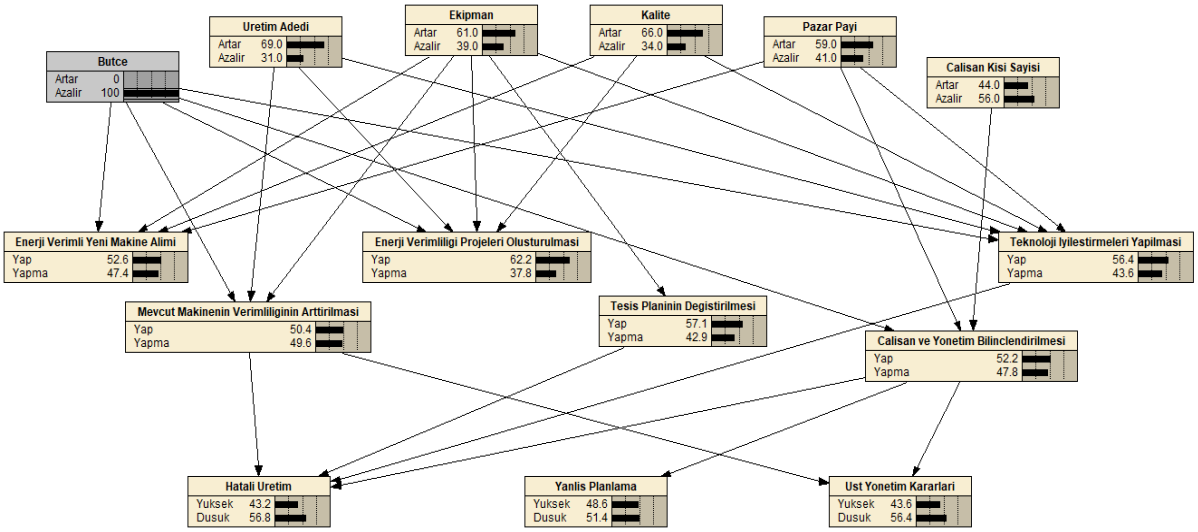
Duyarlılık analizi yapılırken duyarlılık analizi yapılacak parametrenin iki olasılık durumunu ayrı ayrı %100 yaparak diğer parametrelerin nasıl değiştiği gözlemlenir. Bu durumda olasılığı değiştirilen tek parametre duyarlılık analizi yapılacak parametre olacaktır. Diğer parametreler güncel durumdaki olasılıklarıyla çalışmaya katılacaktır.

3.2.2.1. Bütçe Duyarlılık Analizi

İlk duyarlılık analizi için bütçe değişkeni kullanılmıştır. Bütçenin artma olasılığının %100 olduğu durum Şekil 6'da, bütçenin azalma olasılığının %100 olduğu durum da Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Bütçe artar olasılığının %100 olduğu durum

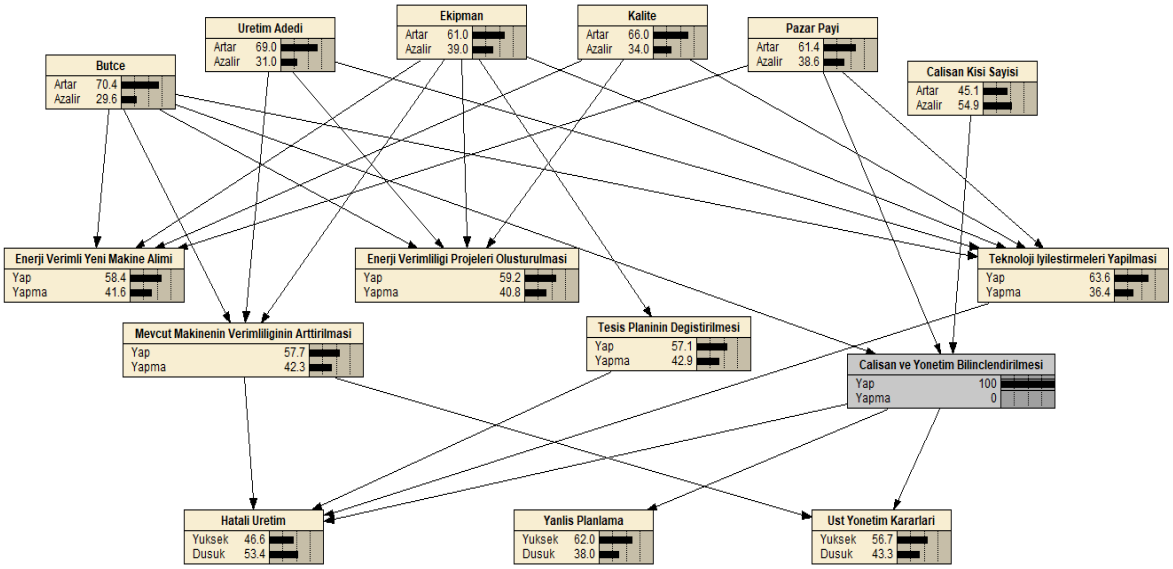


Şekil 7. Bütçe azalır olasılığının %100 olduğu durum

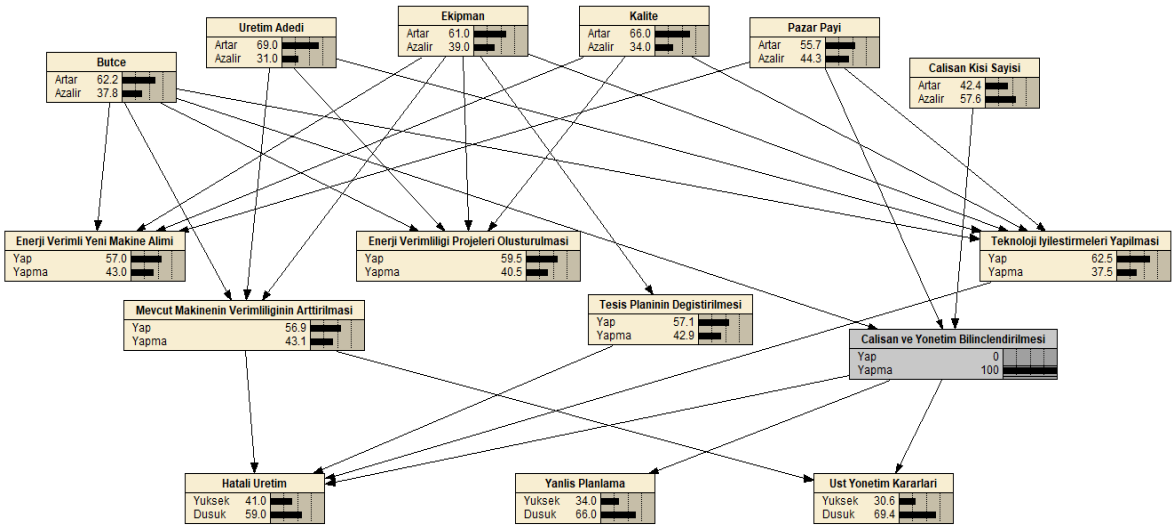
Bütçenin artma durumunda bazı çözüm alternatiflerinin yap olasılıkları %60 üzerine çıktığı görülmektedir. %3.4'lük bir artışla makine verimliliği arttırma değişkeninde en yüksek artış gözlemlenmektedir. Enerji verimliliği projeleri oluşturma değişkeninde ise %1.4'lük bir azalma gözlemlenmektedir.

3.2.2.2.Çalışan ve Yönetim Bilinçlendirme Duyarlılık Analizi

İkinci duyarlılık analizi için çözüm alternatiflerinden çalışan ve yönetim bilinçlendirme seçilmiştir. Duyarlılık analizi için öncelikle çalışan ve yönetim bilinçlendirme değişkeninin yapma olasılığını %100, daha sonrasında yapmama olasılığını %100 yaparak değişkenlere etkisi gözlemlenmiştir. Çalışan ve yönetim bilinçlendirme yapma olasılığının %100 olduğu durum Şekil 8'de, yapmama olasılığının %100 olduğu durum Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Çalışan/yönetim bilinçlendirme yap olasılığının %100 olduğu durum

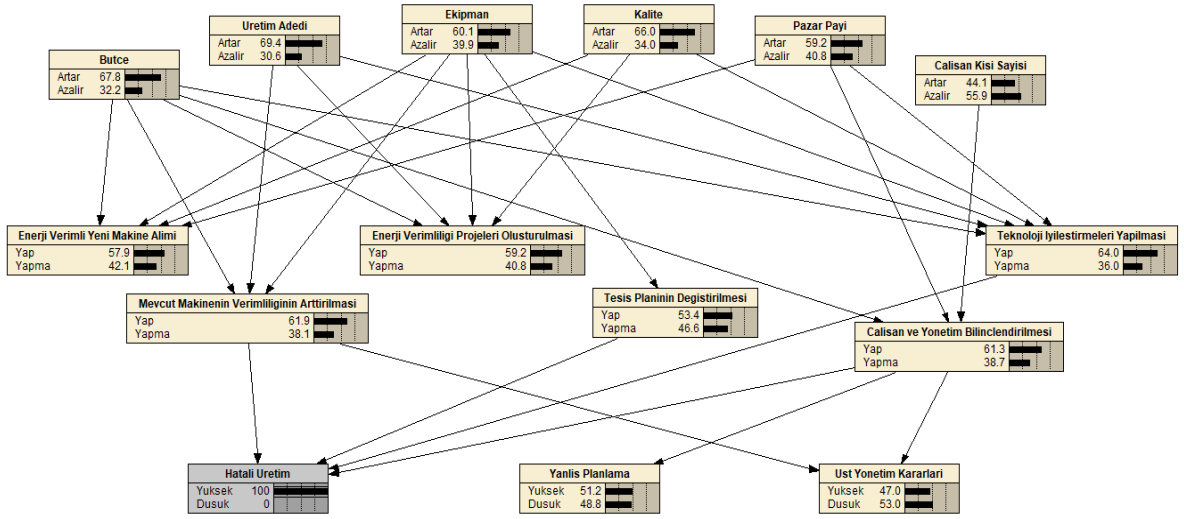


Şekil 9. Çalışan/yönetim bilinçlendirme yapma olasılığının %100 olduğu durum

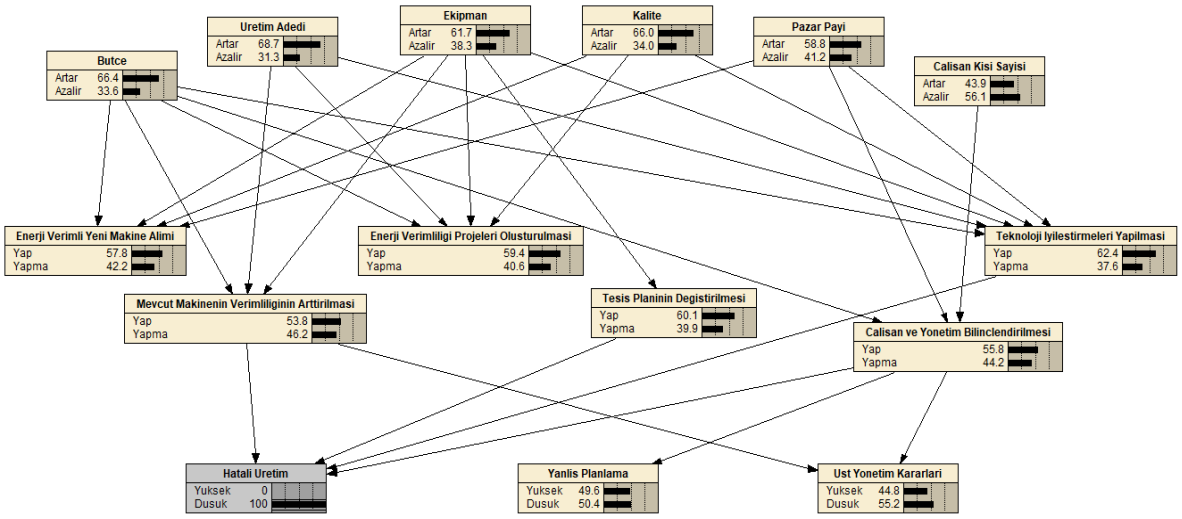
Çalışan ve yönetim bilinçlendirme değişkeninin yap olasılığı arttığında darboğazların hepsinde çözüm beklentisi yüksek olasılıklarında artış gözlemlenmektedir.

3.2.2.3. Hatalı Üretim Duyarlılık Analizi

Duyarlılık analizi için son olarak seçilen parametre hatalı üretimdir. Hatalı üretimin duyarlılık analizi için öncelikle hatalı üretim sorununun çözüm beklentisi yüksek olduğu durumun olasılık değerini %100, sonrasında hatalı üretim sorununun çözüm beklentisi düşük olduğu durumun olasılık değerini %100 yaparak değişkenlere etkisi gözlemlenmiştir. Hatalı üretim sorunun çözüm beklentisi yüksek olasılığının %100 olduğu durum Şekil 10'da, hatalı üretim sorununun çözüm beklentisi düşük olasılığının %100 olduğu durum ise Şekil 11'de gösterilmiştir.



Şekil 10. Hatalı üretim çözüm beklentisi yüksek olasılığı %100 olduğu durum



Şekil 11. Hatalı üretim çözüm beklentisi düşük olasılığı %100 olduğu durum

Hatalı üretimin çözüm beklentisi yüksek olasılığı arttığında değişkenlerin çoğunun yap olasılıklarında artış gözlemlenirken, en yüksek artış %4.5 olasılık artışla makine verimliliği arttırmada gözlemlenmektedir.

4. Tartışma / Tartışma ve Sonuçlar

Dünyada nüfusun ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Bu enerji ihtiyacını karşılamak üzere azalan enerji kaynaklarını verimli kullanmamız gerekmektedir. Bu doğrultuda enerji harcanması yüksek olan sanayi sektörü üzerine verimlilik çalışmaları gerçekleştirmek yararlı olacaktır.

Bu çalışma kapsamında belirlenen çözüm alternatiflerinin darboğazları ne derecede etkilediği incelenmiştir. Karmaşık ilişkilerin birbirini nasıl etkilediğini incelemek amacıyla en uygun yöntem Bayes Ağı olarak görülmüştür. İncelemeler sonucunda çözüm alternatiflerinin hepsinin yapma olasılıkları %57 üzerinde çıkmıştır. Bu durumda en iyi çözüm alternatifinin %63.1 olasılık ile teknoloji iyileştirmeleri yapılması olduğu görülmektedir. En yüksek çözüm beklentisi olan darboğaz %50.3 ile yanlış planlama olarak bulunmuştur. Üst yönetim kararlarının çözüm beklentisi yüksek olasılığı %45.8, hatalı üretimin ise %44.2 ile en düşük çözüm beklentisi yüksek olasılığa sahip olduğu görülmektedir.

Çalışma sonucunda enerji verimliliği için öncelikli çözüm alternatifi teknoloji iyileştirmeleri yapılması olarak bulunmuştur. Kaynakların artma durumunda EV yeni makine alınması, azalma durumunda ise EV projeleri oluşturulması gerektiği öngörülmüştür. Ayrıca çözülmesi en yüksek olasılıklı darboğaz her ihtimalde yanlış planlama olarak görülürken, çözülme ihtimali en düşük darboğazın güncel durum ve kaynakların artma durumunda hatalı üretim olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynaklar

Akçaoğlu, Özcan. *Değer Akış Haritalarında Belirlenen Darboğazların Çözümü için Bayes Ağları ile Senaryo Üretimi: Çamaşır Makinası Fabrikasında Bir Uygulama*. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.

Albayrak, Kazım Onur. *Enerji Verimliliğinde Yalın Yöntemlerin Uygulanması: Soğutucu Fabrikasında Bir Uygulama*. Diss. Enerji Enstitüsü, 2019.

Çınar, Turgut. *Tekstil sanayisinde enerji yönetimi ve enerji verimlilik analizi*. MS thesis. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

Dereli, Burak. *Bayes Ağları İle Gelecek Odaklı Konumlandırma Analizi: Oyun Konsolu Pazarında Bir Uygulama*. Diss. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.

Karyeyen, Serhat, et al. "*Konya Sanayisinde Enerji Verimliliği*." Bölgesel Araştırma Raporları Serisi 5 (2012).

Keskin, Cem. *Endüstriyel Eneri Verimliliği Çalışmalarında Değer Akış Haritalarının Kullanımı*. Diss. Enerji Enstitüsü, 2013.

YILDIZ, Aytaç, Simge AKGÜL, and Salih GÜVERCİN. "*Enerji verimliliği ve sanayideki uygulamaları." İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi* 7.1: 16-22.

Bir Fotovoltaik Panelde Pasif Soğutucu Olarak Nanoakışkan Kullanımının Performans Üzerine Etkisinin Deneysel İncelenmesi

Engin ÖZBAŞ*[1,a], Ömer AYDINLI[2,b]
[1]*Ondokuz Mayıs University, Yeşilyurt D.Ç. Vocational School, 55300, Samsun*
[2]*Ondokuz Mayıs University, Graduate School of Sciences, 55270, Samsun*

Öz

Bu çalışmada fotovoltaik panelde pasif soğutucu olarak nanoakışkan kullanımının performans üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaç doğrultusunda panel arkasına alüminyum sac levha yerleştirilmiştir. Levha ile panel arası nanoakışkan ile doldurulmuştur. Aynı özelliklere sahip referans panel ile birlikte nanoakışkanlı panel aynı zaman ve şartlarda karşılaştırılmıştır. Panellerin ön yüzey sıcaklıları ile birlikte üretilen açık gerilim miktarları ölçülmüştür. Sonuçta fotovoltaik panelde pasif soğutucu olarak nanoakışkan kullanımının performansa etkisi değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik Panel, Pasif Soğutma, Nanoakışkan, Performans

1. Giriş

Enerji günümüzün önemli konularından biridir. Çevresel faktörler ve sürdürülebilirlik açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının temiz enerji olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. Elektrik üretiminde faydalanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de güneş enerjisidir. Güneş enerjisi ile elektrik üretimi için en yaygın yöntem fotovoltaik (FV) panellerin kullanılmasıdır (Özbaş ve Alkış, 2018). Fotovoltaik (FV) hücre, güneş enerjisini fotovoltaik etki ile elektriğe dönüştüren bir cihazdır (Chandrasekar ve Senthilkumar, 2015). Devreye alınan her sistem gibi FV panel sistemlerinin de verimli çalışması istenen bir durumdur. Bir FV panelin verimini olumsuz şekilde etkileyen pek çok parametre bulunur. Bunlardan birisi de çevresel faktörlerden biri olan dış ortam sıcaklığıdır (Idoko vd, 2018).

Güneşten gelen radyasyonunun bir bölümü FV hücrede emilirken, kalan bölümü ısıl enerjiye dönüşerek hücre sıcaklığını arttırır. FV hücre yüzey sıcaklığındaki bu artış FV panelin verimini olumsuz etkileyerek düşmesine neden olur. Dış ortam sıcaklığı, güneş panellerinin genel performansını etkileyen hücre sıcaklığını düşürmede yeterli olamadığından, yüzey sıcaklığını düşürebilecek yenilikçi çözümler bulunmalıdır (Bahaidarah vd, 2016).

FV üzerine uygulanacak soğutma yöntemi, hücreyi koruyan ve homojen bir dağılım ile minimum sıcaklığa sahip olmalıdır. Hücre yüzey sıcaklığı arttıkça güneş pilinin elektriksel veriminin düştüğü görülmektedir (Bahaidarah vd, 2016). FV panelin performansını artırmak amacıyla hücre yüzey sıcaklığını düşürmek için aktif ve pasif olmak üzere ek soğutma yöntemleri kullanılabilir (Sudhakar vd, 2017). Bu çalışmada FV panel üzerine pasif soğutma yöntemi incelenmiştir. Güneş enerjisiyle yapılan deneylerde FV panelde pasif soğutucu kullanılmış ve soğutucu akışkan olarak hazırlanan nanoakışkanın FV panel üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deneyde elektriksel özellikleri Şekil 2.1'de verilen ticari FV panellerden iki adet kullanılmıştır. 360x310x17mm ölçülerinde olan polikristal FV panellerden referans dışında tutulanın arka yüzeyi 0,40mm et kalınlığına sahip alüminyum sac tabaka ile kapatılmıştır. Panelin arka yüzeyi ile tabaka arasında 750ml'lik bir hacim elde edilmiştir.

Elektrik Parametreleri	
Nominal Güç (Pmax)	10 Watt
Açık Devre Gerilimi (VOC)	20.9 Volt
Kısa Devre Akımı (ISC)	0.84 Amper
Nominal Güç Voltajı (Vmp)	17.3 Volt
Nominal Güç Cari (Imp)	0.58 Amper
Hücre Sayısı	36 (3*16)
Boyut (mm)	360x310x17
Ağırlık (kg)	1.4 kilogram
Maksimum Sistem Gerilimi	1000 Volt DC
Maksimum Seri Fuse Rating	10A
Operasyon Sıcaklığı	-40 to +85 Derece

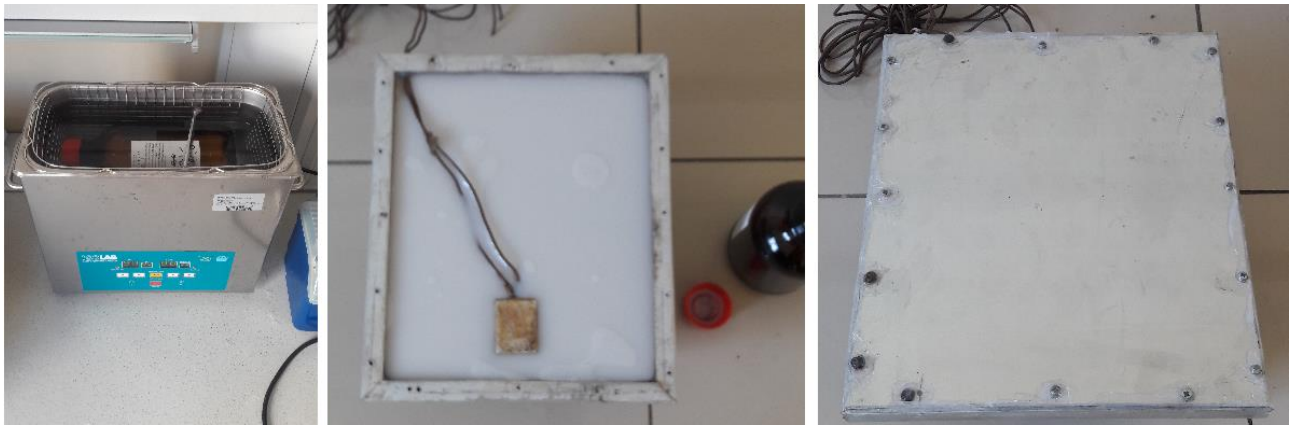
Şekil 2.1 Deneylerde kullanılan FV panelin özellikleri

Şekil 2.2'de nanoakışkan hazırlamada kullanılan saf su, alüminyum oksit (Al_2O_3) ve yüzey aktif madde polivinilpirolidonun (PVP) tartılması görülmektedir. Panel arkasında elde edilen hacim 750ml olduğundan 750ml yani 750gr saf su kullanılmıştır. Saf su içerisine kütlece %1 oranında alüminyum oksit ve yine kütlece %1 oranında yüzey aktif madde PVP tartılarak hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2.2 Karışımların tartılması

Tartma işleminden sonra şişe içerisinde bir araya getirilen nanoakışkan karıştırılmak üzere ultrasonic banyoya konulmuştur. İki saat boyunca ultrasonic banyoda karıştırılarak hazır hale getirilen nanoakışkan panelin arka yüzeyine doldurulmuştur. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, sonrasında alüminyum tabaka ile arka yüzeyi kapatılarak sızdırmazlığı sağlanan pasif soğutmalı FV panel deney için hazır hale getirilmiştir.



Şekil 2.3 Karışımın ultrasonic banyoda karıştırılarak FV panele doldurulması

Şekil 2.4'de deney sisteminden genel görünüm bulunmaktadır. Referans FV panel ile arka yüzeyinde nanoakışkan kullanılarak pasif soğutma uygulanan FV panel 26º'lik eğim açısında yerleştirilmiştir. Deneylerde sıcaklık ölçümü için K-Tipi ısıl-çift, gerilim ölçümü için CHY21-Multimetre, güneş ışınım şiddetini ölçmek için de DeltaOHM LP-PYRA 02AC piranometre kullanılmıştır. Işınım ve sıcaklık ölçüm sonuçları ORDEL UDL100 veri toplayıcıları ile otomatik olarak bilgisayara aktarılmıştır.

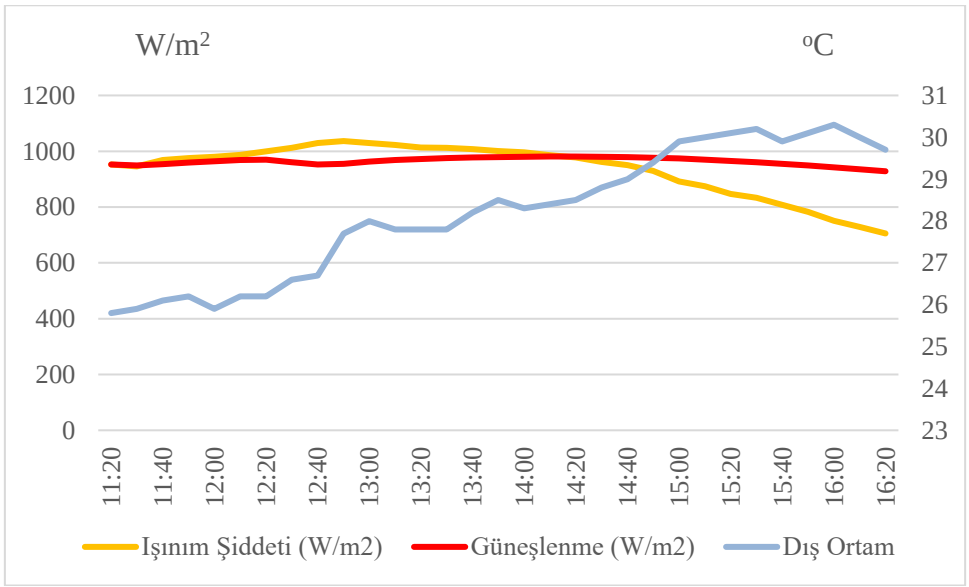


Şekil 2.4 Deney sisteminin genel görünümü

3. Bulgular ve Tartışma

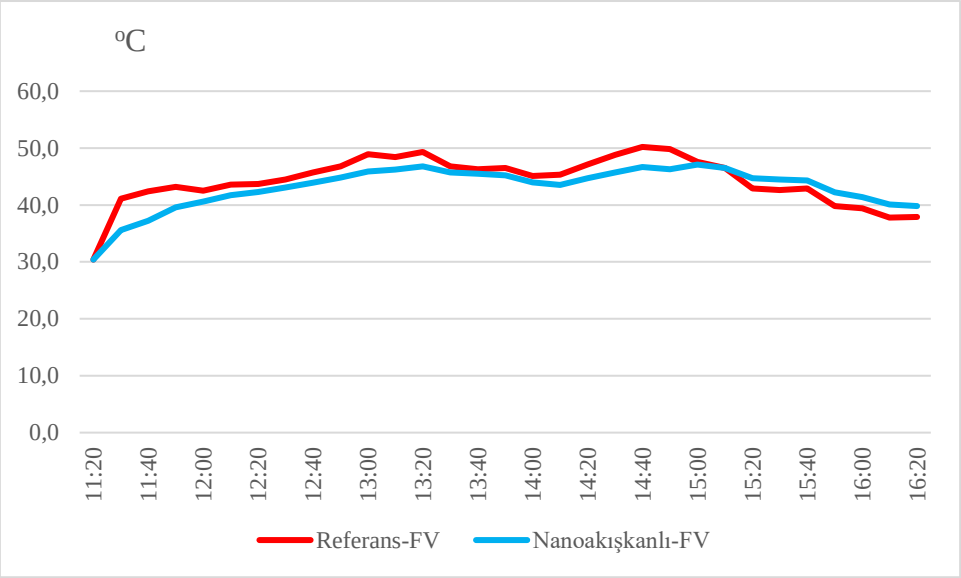
Deneylerde herhangi bir soğutma işleminin uygulanmadığı referans FV panel ile soğutucu akışkan olarak alüminyum oksitli nanoakışkanın kullanıldığı pasif soğutuculu FV panel aynı anda ve şartlar altında karşılaştırılmıştır.

Deney saat 11:20 ile 16:20 arası beş saat boyunca yapılmıştır. Şekil 3.1'de deney gününe ait anlık güneş ışınım şiddeti ile dış ortam sıcaklığı verilmiştir. Ayrıca FV panellerin saat 11:20-16:20 arası güneşlenme miktarı da hesaplanarak gösterilmektedir.



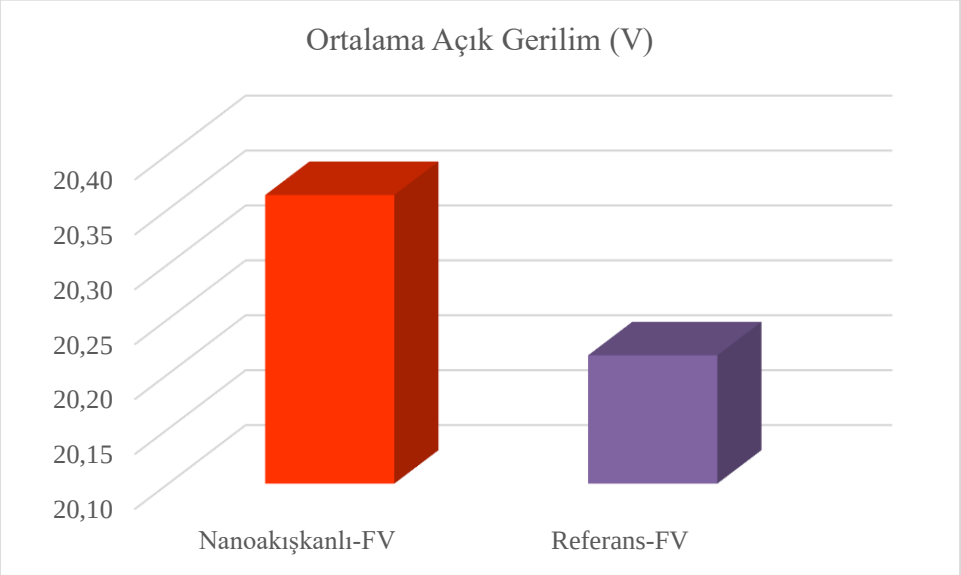
Şekil 3.1 Deney gününe ait güneş ışınım ve dış ortam değerlerinin dağılımı

Panellerin yüzey sıcaklıklarının dağılımı ise Şekil 3.2'de verilmektedir. Grafikten anlaşıldığı gibi nanoakışkanlı pasif soğutuculu FV panelin yüzey sıcaklığı referans panele göre daha düşük düzeylerdedir. Yaklaşık saat 15:00'den sonra ışınım şiddetinin azalmasına bağlı olarak her iki panelin de yüzey sıcaklıklarında azalma başlamaktadır. Referans panelde her hangi bir akışkan kullanılmadığından pasif soğutmalı panele göre sıcaklık düşüşü daha fazla olmuştur.



Şekil 3.2 FV panellerin yüzey sıcaklıklarının dağılımı

Şekil 3.3'de deney süresince panellerden üretilen ortalama açık gerilim miktarı görülmektedir. Grafik incelendiğinde FV panel yüzey sıcaklığına bağlı olarak nanoakışkanlı pasif soğutuculu panelde üretilen açık gerilim miktarın daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.3 Ortalama açık gerilim miktarı

4. Tartışma ve Sonuçlar

Deneyde 10W gücünde polikristal fotovoltaik panel kullanılmıştır. Panelin arka yüzeyi alüminyum sac tabaka ile kapatılarak 0,75 litre hacimli kapalı devre bir depo meydana getirilmiştir. Referans panel, alüminyum oksitli nanoakışkanın soğutucu akışkan olarak kullanıldığı pasif soğutuculu panel ile karşılaştırılmıştır. Her iki panel aynı anda ve şarlar altında güneş enerjisi ile saat 11:20-16:20 arası 5 saat boyunca çalıştırılmıştır.

Deneysel veriler incelendiğinde deney süresinin ilk 30 dakikalık kısmında referans panelin daha hızlı bir şekilde sıcaklığının arttığı görülmüştür. Sonrasında her iki panelde de yüzey sıcaklığında paralel bir dağılım izlenmiştir. Saat 15:00'den itibaren ışınım şiddetinin azalmaya başlamasıyla beraber panellerin sıcaklıklarında düşme başladığı görülmüştür. Ancak pasif soğutma uygulanan FV panelin soğuma hızı

referans panele göre daha düşük kalmıştır. Deneyin son 60 dakikalık kısmında nanoakışkanlı çözelti FV panelde soğutulmasına değil ısınmasına neden olduğu görülmüştür.

Deney boyunca elde edilen sıcaklık dağılımı incelendiğinde yapılan pasif soğutucu tasarımının FV panelin soğutulmasında çok etkili olamadığı anlaşılmaktadır. Buna bağlı olarak da panellerden üretilen açık gerilim miktarında belirgin bir fark elde edilemediği, referans panele göre yaklaşık %0,8 bir iyileştirmenin sağlandığı anlaşılmaktadır.

Çalışma sonunda FV panel arkasına yapılacak kapalı devre soğutucu kullanımının ileride yapılacak çalışmalar için umut verici olduğu söylenebilir. Pasif soğutucuda kullanılan akışkan tipi ile birlikte farklı tasarımlar da uygulanarak FV panel soğutmasında iyileştirmeler yapılabilir.

Kaynaklar

Bahaidarah, H.M.S., Baloch, A.A.B., Gandhidasan, P. (2016). Uniform cooling of photovoltaic panels: A review. *Renewableb and Sustainable Energy Reviews, 57*, 1520-1544.

Chandrasekar, M., Senthilkumar, T. (2015). Experimental demonstration of enhanced solar energy utilization in flat PV (photovoltaic) modules cooled by heat spreaders in conjunction with cotton wick structures. *Energy*, *90*, 1401-1410.

Idoko, L., Anaya-Lara, O., McDonald, A. (2018). Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique. *Energy Reports*, *4*, 357-369.

Özbaş, E., Alkış, M. (2018). Investigation of Cooling Techniques Applied to Photovoltaic Modules. *ISAS 2018-Winter, 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies* (pp. 1274-1277). Samsun.

Sudhakar, P., Kumaresan, G., Velraj, R. (2017). Experimental analysis of solar photovoltaic unit integrated with free cool thermal energy storage system. *Solar Energy, 158*, 837-844.

Farklı Akışkanlar İle Pasif Soğutmanın Fotovoltaik Panelin Parametrelerine Etkisi

Engin ÖZBAŞ*[1,a], Mehmet ALKIŞ[2,b]
[1]*Ondokuz Mayıs University, Yeşilyurt D.Ç. Vocational School, 55300, Samsun*
[2]*Ondokuz Mayıs University, Graduate School of Sciences, 55270, Samsun*

Öz

Bu çalışmada fotovoltaik panel üzerinde pasif soğutma tekniği ele alınmıştır. Farklı soğutucu akışkanların panel soğutmasında kullanılarak panel parametreleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Akkor lambanın ışık enerji kaynağı olarak kullanıldığı çalışmada antifriz, trafo yağı, su, alkol, sıvı yağı, 30 numara yağ olmak üzere altı farklı akışkan kullanılmıştır. Deney sonunda en düşük yüzey sıcaklığına 62.7°C ile alkollü soğutmada ulaşılırken, en yüksek açık gerilim 18.64V ile antifrizde ile elde edilmiştir. Deney süresince en düşük ortalama yüzey sıcaklığına alkol ulaşılmıştır. En yüksek ortalama üretilen açık gerilim miktarı ise antifriz akışkanı kullanılan panel ile elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Fotovoltaik Panel, Pasif Soğutma, Performans

1. Giriş

Enerji günümüzün önemli konularından biridir. Çevresel faktörler ve sürdürülebilirlik açısından yenilenebilir enerji kaynaklarının temiz enerji olarak kullanımı yaygınlaşmaktadır. Elektrik üretiminde faydalanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi de güneş enerjisidir. Güneş enerjisi ile elektrik üretimi için en yaygın yöntem fotovoltaik (FV) panellerin kullanılmasıdır (Özbaş ve Alkış, 2018). Fotovoltaik (FV) hücre, güneş enerjisini fotovoltaik etki ile elektriğe dönüştüren bir cihazdır (Chandrasekar ve Senthilkumar, 2015). Devreye alınan her sistem gibi FV panel sistemlerinin de verimli çalışması istenen bir durumdur. Bir FV panelin verimini olumsuz şekilde etkileyen pek çok parametre bulunur. Bunlardan birisi de çevresel faktörlerden biri olan dış ortam sıcaklığıdır (Idoko vd, 2018).

Güneşten gelen radyasyonunun bir bölümü FV hücrede emilirken, kalan bölümü ısıl enerjiye dönüşerek hücre sıcaklığını arttırır. FV hücre yüzey sıcaklığındaki bu artış FV panelin verimini olumsuz etkileyerek düşmesine neden olur. Dış ortam sıcaklığı, güneş panellerinin genel performansını etkileyen hücre sıcaklığını düşürmede yeterli olamadığından, yüzey sıcaklığını düşürebilecek yenilikçi çözümler bulunmalıdır (Bahaidarah vd, 2016).

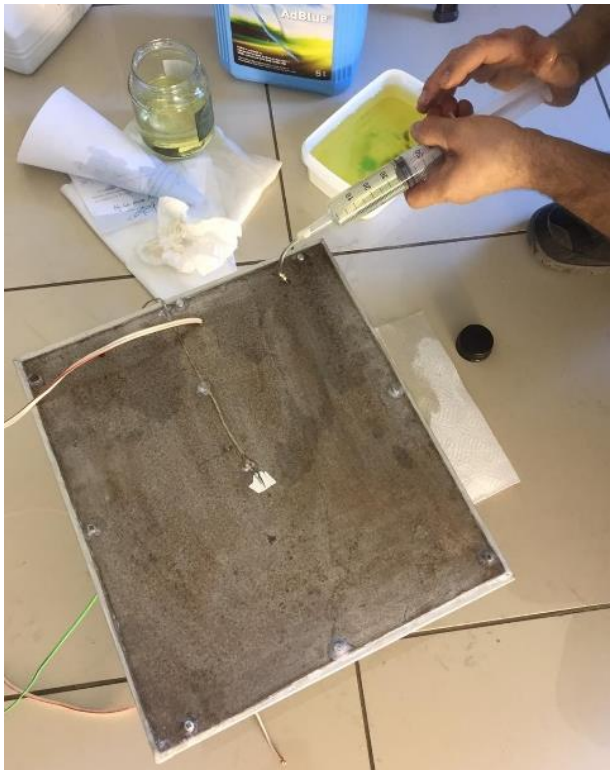
FV üzerine uygulanacak soğutma yöntemi, hücreyi koruyan ve homojen bir dağılım ile minimum sıcaklığa sahip olmalıdır. Hücre yüzey sıcaklığı arttıkça güneş pilinin elektriksel veriminin düştüğü görülmektedir (Bahaidarah vd, 2016). FV panelin performansını artırmak için hücre yüzey sıcaklığını düşürmek için aktif ve pasif olmak üzere ek soğutma yöntemleri kullanılabilir (Sudhakar vd, 2017). Bu çalışmada FV panel üzerine pasif soğutma yöntemi incelenmiştir. Işık enerji kaynağı olarak güneş yerine akkor lambanın kullanıldığı deneylerde altı faklı akışkanın FV panelin parametreleri üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deneylerde sıcaklık ölçümü için K-Tipi ısıl-çift, gerilim ve akım ölçümü için CHY21-Multimetre, akkor lambanın ışınım şiddetini ölçmek için de DeltaOHM LP-PYRA 02AC piranometre kullanılmıştır. Işınım ve sıcaklık ölçüm sonuçları ORDEL UDL100 veri toplayıcıları ile otomatik olarak bilgisayara aktarılmıştır.

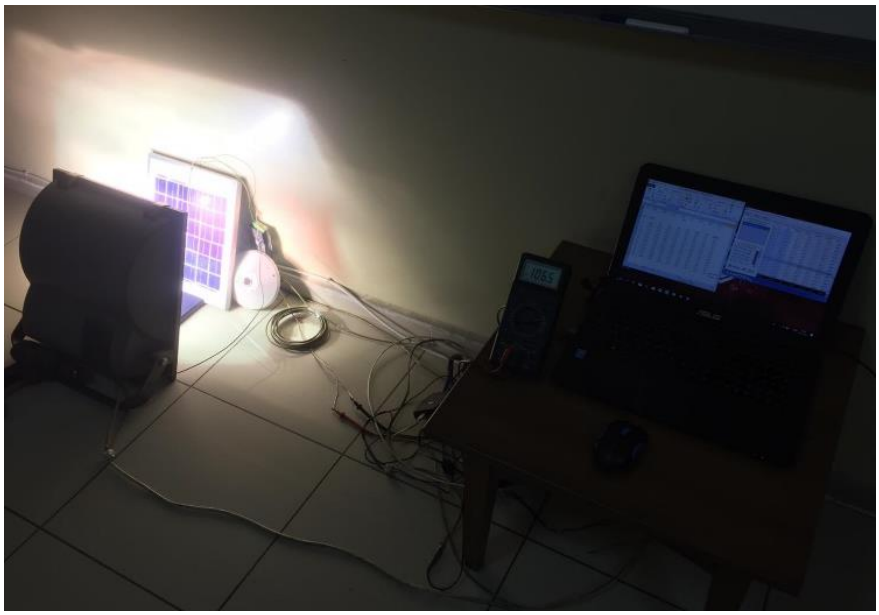
Deneylerde nominal gücü 10W, açık devre gerilim 20,9V, kısa devre akımı 0,84A ve 360x310x17mm ölçülerinde olan polikristal FV panel kullanılmıştır.

Şekil 2.1'de deneylerde kullanılan FV panelin hazırlanması görünmektedir. FV panelin arka yüzeyi 0,30mm et kalınlığına sahip galvanizli demir bir sac tabaka ile kapatılmıştır. Böylece FV panel arkasında 700ml'lik bir hacim meydana gelmiştir. Referans deneyde elde edilen hacme herhangi bir akışkanın doldurulmadan deney yapılmıştır. Sonraki deneylerde ise elde edilen 700ml'lik hacim antifriz, trafo yağı, su, alkol, sıvı yağı, 30 numara yağ olmak üzere 6 farklı akışkan ile doldurularak FV panel üzerinde pasif soğutma uygulanmıştır.



Şekil 2.1 Deneylerinde kullanılan FV panelin hazırlanması

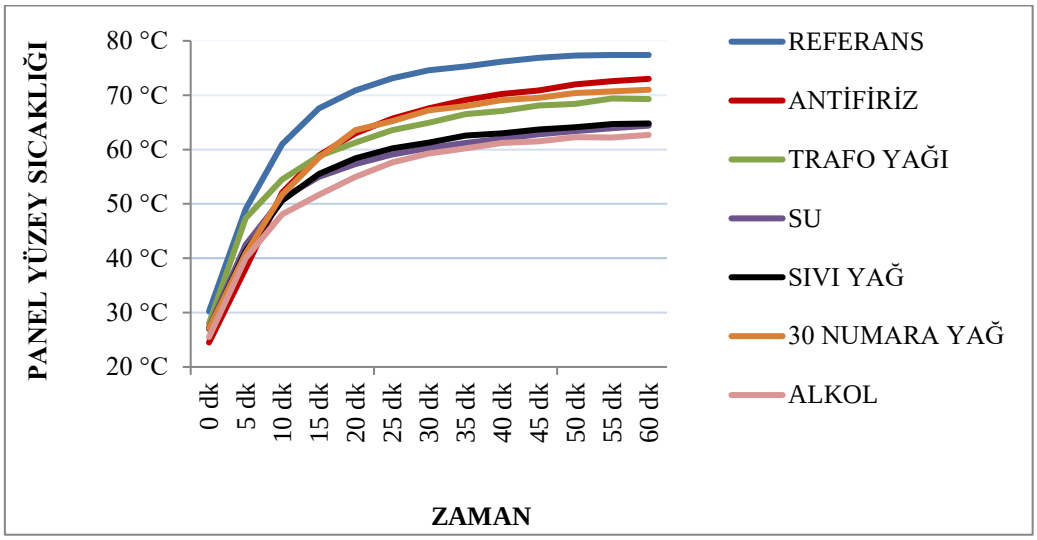
FV panelden elektrik üretimi için gerekli ışık enerjisinin akkor lambadan sağlandığı deneyler 1 saat süreyle yapılmıştır. Şekil 2.2'de deneylerden genel bir görünüm yer almaktadır.



Şekil 2.2 Deneylerin genel görünümü

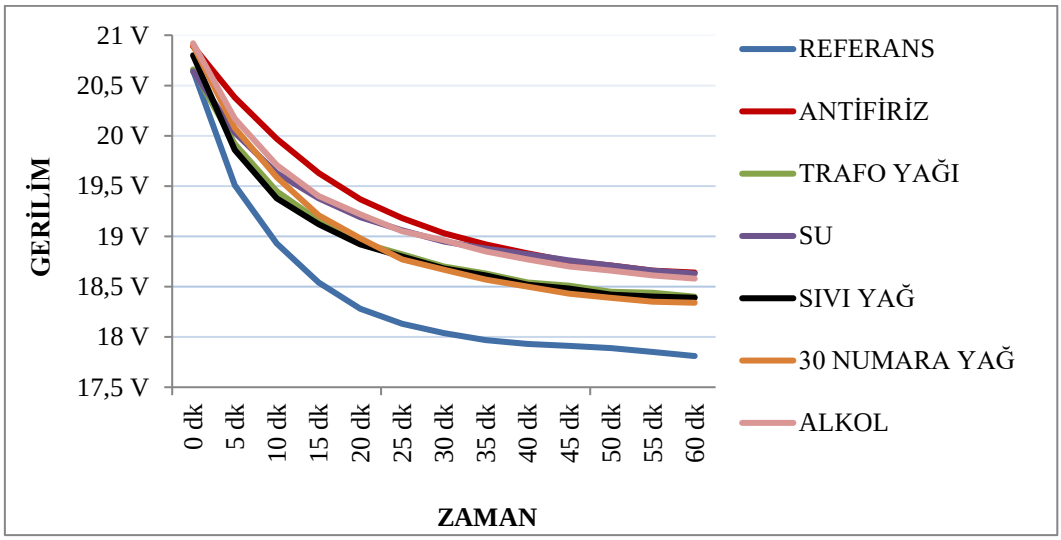
3. Bulgular ve Tartışma

Deneylerde antifriz, trafo yağı, su, alkol, sıvı yağı, 30 numara yağ olmak üzere 6 farklı akışkanın fotovoltaik panelin parametreleri üzerine etkileri karşılaştırılmıştır. Deneyler süresince ortam sıcaklığı 22°C'dir. Akkor lamba ile 560 W/m^2 ışınım sağlanmış ve FV panel üzerine 35W'lık ışık enerji verilmiştir. Referans deney ile birlikte 6 farklı akışkanının karşılaştırıldığı deneyler, FV panel yüzey sıcaklığının sabit kalmaya başladığı 1 saat süre ile sınırlandırılmıştır. Şekil 3.1'de kullanılan soğutucu akışkanlara göre fotovoltaik panelin yüzey sıcaklığının zamana göre dağılımı ile karşılaştırılması görülmektedir.



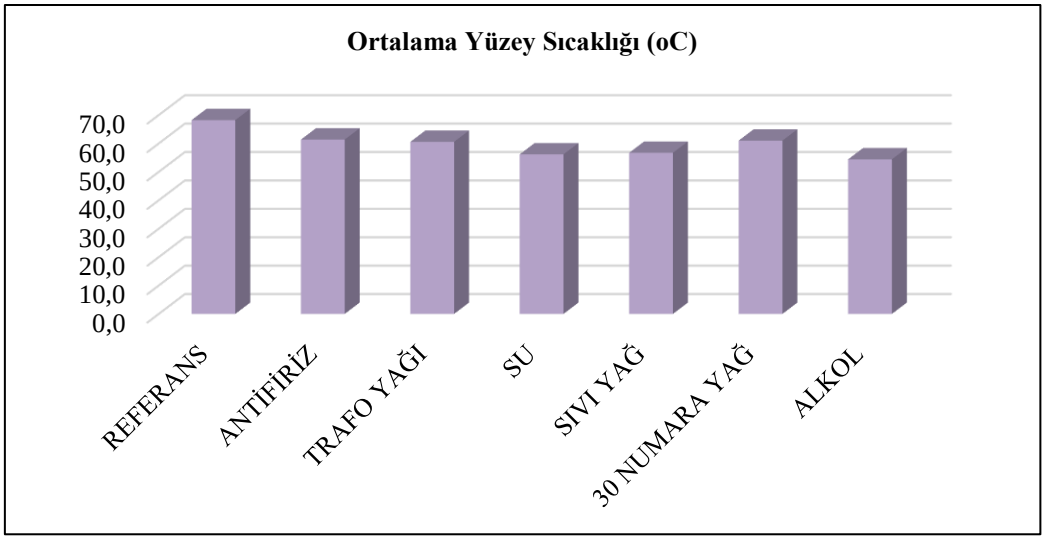
Şekil 3.1 Soğutucu akışkanlara göre FV panel yüzey sıcaklıklarının dağılımı

Panel yüzey sıcaklığı ile ters orantılı olan ve kullanılan soğutucu akışkanların karşılaştırıldığı açık gerilim miktarlarının dağılımı ise Şekil 3.2'de verilmektedir.



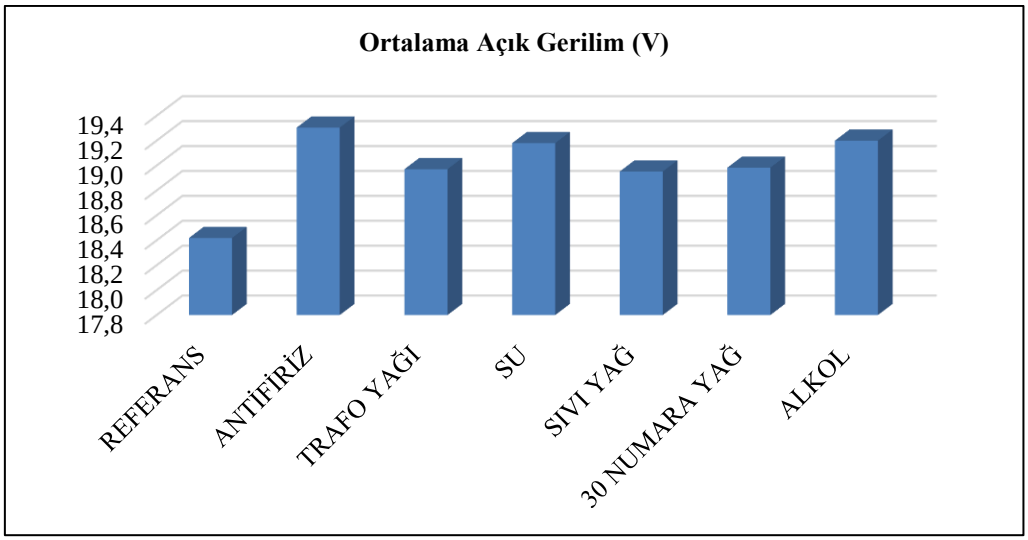
Şekil 3.2 Soğutucu akışkanlara göre üretilen açık gerilim miktarının dağılımı

Şekil 3.3'de deney süresince panel yüzeylerinden ölçülen ortalama sıcaklık değerleri bulunmaktadır. Grafik incelendiğinde en düşük ortalama yüzey sıcaklık değerlerine alkol ile ulaşıldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 3.3 Ortalama yüzey sıcaklığı miktarı

Şekil 3.4'de referans ve diğer soğutucu akışkanlarla yapılan deney süresince elde edilen ortalama açık gerilim miktarları görülmektedir. En fazla ortalama açık gerilim üretimi antifriz ile sağlanmıştır.



Şekil 3.4 Ortalama açık gerilim miktarı

4. Tartışma ve Sonuçlar

Deneylerde 10W gücünde polikristal fotovoltaik panel kullanılmıştır. Panelin arka yüzeyi kapatılarak 0,7 litre hacimli kapalı devre bir depo meydana getirilmiştir. Referans panel, pasif soğutucu akışkan olarak kullanılan antifriz, trafo yağı, su, sıvı yağ, 30 numara yağ ve alkol birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Fotovoltaik panel için gerekli ışınım akkor bir lamba ile sağlanmıştır. FV panel yüzey sıcaklıkları yaklaşık 50 dakikada kararlı hale geldiğinden deneyler 1 saatte tamamlanmıştır.

Anlık değerlere bakıldığında deneyler sonunda en düşük yüzey sıcaklığına 62.7°C alkol ile ulaşılırken, en yüksek açık gerilim 18.64V ile antifrizde ile elde edilmiştir. Deney süresince elde edilen verilerin ortalamasına bakıldığında en düşük ortalama yüzey sıcaklığına ulaşan soğutucu akışkan 54.41°C ile alkol olmuştur. Alkol akışkanın kullanıldığı panelde ile ortalama üretilen açık gerilim miktarı 19.20V iken, antifriz akışkanı kullanılan panel ile19,30V değerine ulaşılarak en iyi sonuç elde edilmiştir.

Deneyler sonunda pasif soğutmanın fotovoltaik panel üzerinde olumlu etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Panelin arka yüzeyinin sahip olduğu mevcut fabrikasyon derinliğinin daha yüksek

tutularak hacmin daha fazla arttırıldığı tasarımlar kullanılabilir. Akışkanların tamamının bir birine oldukça yakın değerlerde seyrettiği ve belirgin bir üstünlüklerinin olmadığı ancak kullanılan soğutucu akışkanın yoğunluğu arttıkça daha iyi sonuçların alınabildiği görülmüştür.

Kaynaklar

Bahaidarah, H.M.S., Baloch, A.A.B., Gandhidasan, P. (2016). Uniform cooling of photovoltaic panels: A review. *Renewableb and Sustainable Energy Reviews, 57*, 1520-1544.

Chandrasekar, M., Senthilkumar, T. (2015). Experimental demonstration of enhanced solar energy utilization in flat PV (photovoltaic) modules cooled by heat spreaders in conjunction with cotton wick structures. *Energy, 90*, 1401-1410.

Idoko, L., Anaya-Lara, O., McDonald, A. (2018). Enhancing PV modules efficiency and power output using multi-concept cooling technique. *Energy Reports, 4*, 357-369.

Özbaş, E., Alkış, M. (2018). Investigation of Cooling Techniques Applied to Photovoltaic Modules. *ISAS 2018-Winter, 2nd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies* (pp. 1274-1277). Samsun.

Sudhakar, P., Kumaresan, G., Velraj, R. (2017). Experimental analysis of solar photovoltaic unit integrated with free cool thermal energy storage system. *Solar Energy, 158*, 837-844.

Determination of Nitrate and Nitrite Content of Various Parts of Sugar Beet (*Beta vulgaris* var. *Saccharifera* L.)

Nazik Meziyet DİLEK*[1,a], Mustafa KARAKAYA[2,b], Ali Samet BABAOĞLU[3,c]
[1]*Department of Nutrition and Dietetics, Akşehir Kadir Yallagöz School of Health, Selçuk University, Konya, Turkey*
[2] *Department of Food Engineering, Agriculture Faculty, Selçuk University, Konya, Turkey*
[3]*Department of Food Engineering, Agriculture Faculty, Selçuk University, Konya, Turkey*

Abstract

Sugar beet (*Beta vulgaris* var. *Saccharifera* L.) is an industrial plant in the *Chenopodiaceae* family, primarily grown to produce sugar. In addition to sugar production, it is reported that sugar beet is a very important plant due to the fact that by-products such as molasses, pulp, leaves and head waste are used for animal feed, alcohol and spirit production. Sugar beet production is suitable for modern agricultural techniques and creates employment.

The dry matter of sugar beet is between 22-25% and it is stated that it contains 4.8% crude protein, 4.8% crude fiber, 0.4% crude oil, 1.9% crude ash, 3.0% sucrose, 144 mg Ca, 34 mg P, 3.1 mg Fe. It has been reported that oxalic acid, which is 1% in sugar beet leaves, increases up to 5% in dry seasons and also contains hydroxyanic acid, nitrates and nitrites in the leaves. Sugar beet, which is a rich source of nitrate and betalain pigments, can be used as a natural antioxidant and color agent as it contains bioactive phytochemicals such as phenolic compounds.

Due to the negative effects of nitrate and nitrite on human health, recent studies have focused on natural and healthy products that can be used instead of chemical nitrate and/or nitrite.

In this study, nitrate and nitrite contents were determined in different parts of sugar beet such as leaves, head, tail, stem, scape and molasse in order to investigate the use of sugar beet as a natural curing agent. For this purpose, harvested sugar beet was cut into head, stem, tail and leaves. Then all parts were dried under room conditions and ground into powder. Nitrate and nitrite analyzes were performed on powder samples and commercially available sugar beet molasses.

Keyword: nitrate, nitrite, sugar beet

1.Introduction

Sugar production was provided from only sugar cane all over the world before 1750, until a German chemist extracted the sugar from beets (*Beta vulgaris*) grown primarily as animal fodder (Almazan, Gonzalez, & Galvez, 1999; Cook & Scott, 1993; Jodidi, 1911). It was reported that sugarbeets are very tolerant of different soils and climates and could be grown on marginal land (Stevanato & Panella, 2013).

Turkey is among the top five countries where sugar beet cultivation is carried out around the world due to its climate and soil characteristics are suitable for sugar beet agriculture. Sugar beet cultivation is continued as an income-generating agricultural activity in cities such as Eskişehir, Afyonkarahisar and Yozgat, especially Konya. Sugar beet contains 75% moisture, 17.5% sucrose, 7.5% non-sugar substance. Non-sugar substances are divided into two as water-soluble and water-insoluble. It has been reported that the water-insoluble part is called "mark" and has 4.8% (Kavas & Leblebici, 2004).

Nitrate accumulation occurs in vegetables, when vegetables absorb more nitrate than they need in order to continue their growth (Prasad & Chetty, 2008). It is stated that the nitrate content of sugar beet changes depending on the nitrogen fertilization ratio and climatic conditions. It has been reported that the nitrite content in sugar beet is quite low, but the nitrite content may increase as a result of the reduction of nitrate to nitrite by thermophilic bacteria (Hoffmann & Märländer, 2005).

Nitrates and nitrites have been used in food preservation since about 3000 BC up until the present day (Cassens, 1990). Despite the advantages of nitrate and nitrite application in the food industry, it was stated that they cause adverse effects on human health. The adverse effects of nitrate and nitrite were first recorded in the early 1950s and 1960s when N-nitroso compounds (NOCs) many of which are carcinogenic were initially discovered (Bedale, Sindelar, & Milkowski, 2016). Some epidemiological

studies have suggested an association between dietary nitrite and cancer (Abid, Cross, & Sinha, 2014), while others have demonstrated conflicting results (Eichholzer & Gutzwiller, 1998), with reviews and meta-analyses sometimes coming to different conclusions (Alexander, Weed, Cushing, & Lowe, 2011; Alexander, Weed, Miller, & Mohamed, 2015). Recently, consumers prefer natural additives and clean-label products instead of chemicals in food products because of the health risks involved. Therefore, researches on the replacement of chemical additive nitrate and nitrite with natural compounds have increased in recent years. Some vegetables such as celery, leek, parsley, and spinach contains significant amounts of nitrate and thus studies have been conducted on these vegetables as nitrate sources in food products (Babaoğlu, 2020; Beşir, 2019; Erten, 2019; Hwang et al., 2018; Jin, Choi, Yang, Park, & Yim, 2018; Sucu & Turp, 2018; Topal, 2019). It is thought that sugar beet, which is a very important nitrate source, can also be used for this purpose.

On the other hand, within the last several decades the profound importance of nitric oxide (and its oxidative products nitrite and nitrate) in many physiological systems has been established. Dietary consumption of nitrate has been demonstrated in clinical studies to have numerous health benefits, especially related to have effects on important markers of cardiovascular health such as blood pressure (Hobbs, George, & Lovegrove, 2014; Hughes, Ueda, Treichler, & Casey, 2016; Jonvik et al., 2016; Liu et al., 2013), endothelial function (Bakker et al., 2015; Bondonno et al., 2012; Kapil, Khambata, Robertson, Caulfield, & Ahluwalia, 2015; Rodriguez-Mateos et al., 2015; Velmurugan et al., 2016), arterial stiffness (Bahra, Kapil, Pearl, Ghosh, & Ahluwalia, 2012; Hughes et al., 2016; Kapil et al., 2015; Rammos et al., 2014; Velmurugan et al., 2016), ischemia reperfusion injury (Kapil et al., 2010; Webb et al., 2008) and blood flow (Fuchs et al., 2016; Keen, Levitt, Hodges, & Wong, 2015; Presley et al., 2011).

The aims of this study were to determine the nitrate and nitrite contents of various parts of sugar beet and and to contribute to the limited literature in this area. Thus, it is thought that the nitrate obtained from sugar beet can be used for various purposes such as natural curing and antimicrobial agent.

2.Materials and Methods

Sugar beet (*Beta vulgaris* var. *saccharifera* L.) was supplied from Cihanbeyli, Konya and sugarbeet molasse obtained from Pankobirlik-Çumra, a local marketplace in Konya, Turkey. Sugarbeet washed and peeled, after that the leaves, head, tail, stem and scape of sugar beets were separately sliced to a thickness of 2 mm. The slices were dried in room conditions and then dried slices were ground to obtain beetroot powder. Also, sugar beet molasse was dried by using maltodextrin as a carrier at the Enka Dairy and Food Products, Konya, Turkey.

2.1. Determination of Nitrate and Nitrite Content of Various Parts of Sugar Beet (Beta vulgaris var. Saccharifera L.)

The nitrate and nitrite content of various parts of sugar beet such as leaves, head, tail, stem, scape and molasse was determined according to Cortesi, Vollano, Peruzy, Marrone, and Mercogliano (2015). As a result of the analysis, nitrate and nitrite amounts were calculated as ppm (mg / kg) $NaNO_3$ and $NaNO_2$, respectively.

3. Results and Discussion

3.1. Nitrate and nitrite content of various parts of sugar beet (Beta vulgaris var. Saccharifera L.)

The nitrate and nitrite content of samples is given in Table 1, Figure 1 and Figure 2. According to nitrate analysis of various parts of sugar beet and sugar beet molasse, it was determined that molasse and molasse powder has the highest nitrate content and these values were set at 5265.37 ppm and 3272.19 ppm, respectively. The nitrate content of other parts of sugar beet such as leaves, head, tail, stem and scape was varied between 105.17-751.73 ppm and quite low compared to molasse and molasse powder. As can be seen in Table 1, the nitrite contents of scape, leaves, molasse, stem, molasse powder, head and tail were determined as 13.78 ppm, 13.45 ppm, 11.16 ppm, 9.50 ppm, 9.18 ppm, 7.97 ppm and 7.93 ppm, respectively.

Erkmen, Orak, and Şatıroğlu (1990) reported that the nitrate and nitrite contents of obtained sugar beets from markets in Istanbul were in the range of 262.11-772.35 ppm and 0-1.64 ppm, respectively. The data obtained in this study are similar to our results in terms of nitrate content.

İnce and Türkmen (2007) also stated that the average nitrate and nitrite contents of sugar beets obtained from different regions of Afyonkarahisar were 1492.79 ppm and 25.92 ppm, respectively. Our results was relatively low compared to findings of İnce and Türkmen (2007). This variation may be due to genetic diversity, harvest season, agronomic factors and differences in the soil, climate and growing conditions of the sugar beets.

Antczak-Chrobot, Bąk, and Wojtczak (2018) determined that the nitrate and nitrite contents of sugar beet molasses as 5377.8 and 26.19 ppm, respectively. Although this study was similar to our study in terms of nitrate content of molasses, higher results were obtained in terms of nitrite content in this study.

Table 1. Nitrate and nitrite content of various parts of sugar beet *

Parts of sugar beet	Nitrate content (ppm)	Nitrite content (ppm)
Sugar beet stem	105.17±12.19	9.50±0.47
Sugar beet scape	751.73±48.77	13.78±0.47
Sugar beet leaves	310.35±162.56	13.45±0.47
Sugar beet head	742.34±42.47	7.97±2.10
Sugar beet tail	209.71±51.82	7.93±1.61
Molasse	5265.37±152.50	11.16±0.64
Molasse powder	3272.19±30.92	9.18±0.03

*Mean ±standard deviation

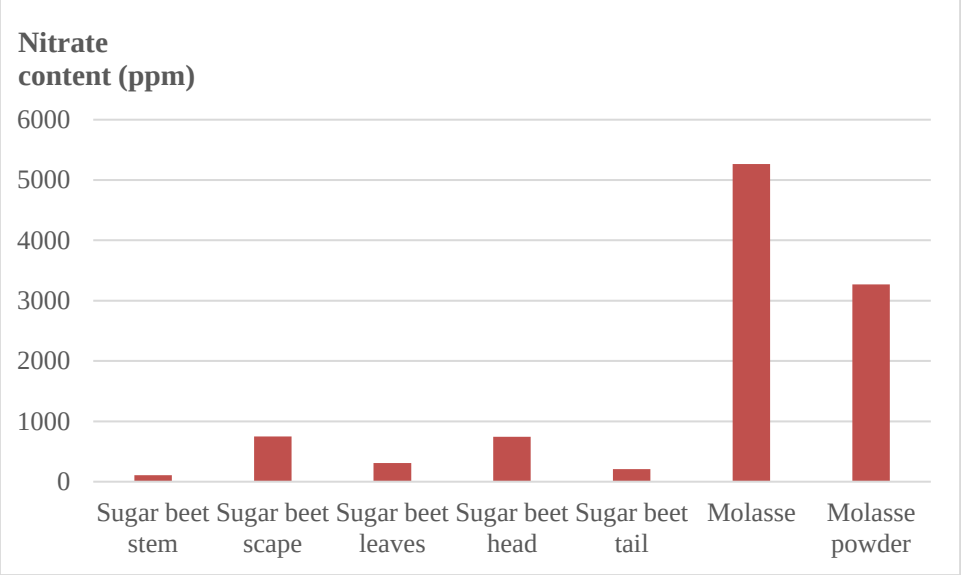


Figure 1. Nitrate content of various parts of sugar beet

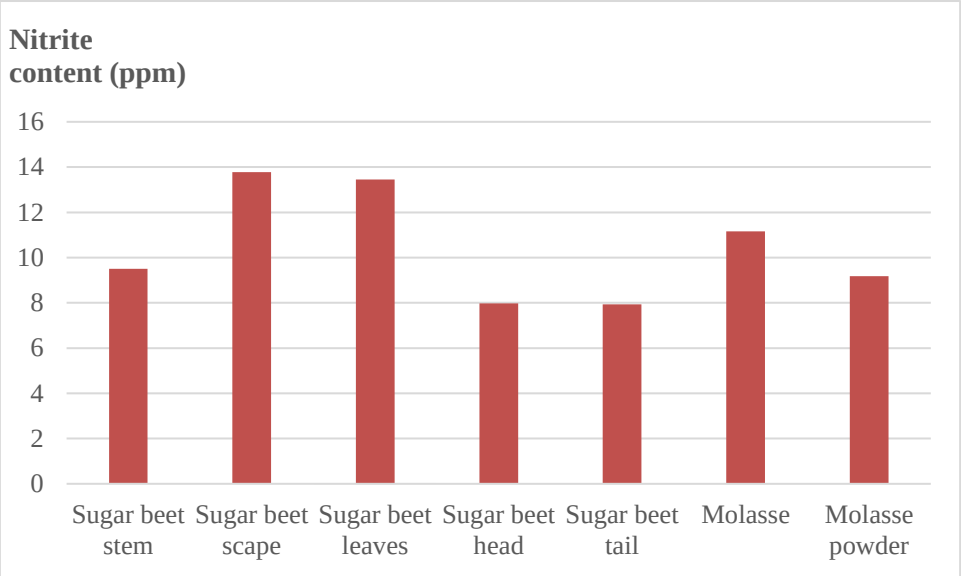


Figure 2. Nitrite content of various parts of sugar beet

4. Conclusion

As a result, it was determined that the nitrate and nitrite contents of sugar beet vary according to the parts from which they are obtained, and in general, the nitrate content was determined in the range of 105.17-5265.37 ppm and the nitrite content in the range of 7.93-13.78 ppm. The nitrate content of molasses, which is a waste product formed during sugar production from sugar beet, found quite high, and it was thought that molasses can be used as a nitrate source, especially in cured products, apart from animal nutrition. As a result of the literature review, very limited data was reached on the nitrate and nitrite content of sugar beet. So, it was concluded that more studies are needed on this area.

5. References

Abid, Z., Cross, A. J., & Sinha, R. (2014). Meat, dairy, and cancer. *The American journal of clinical nutrition*, *100*(suppl_1), 386S-393S.

Alexander, D. D., Weed, D. L., Cushing, C. A., & Lowe, K. A. (2011). Meta-analysis of prospective studies of red meat consumption and colorectal cancer. *European Journal of Cancer Prevention*, *20*(4), 293-307.

Alexander, D. D., Weed, D. L., Miller, P. E., & Mohamed, M. A. (2015). Red meat and colorectal cancer: a quantitative update on the state of the epidemiologic science. *Journal of the American College of Nutrition*, *34*(6), 521-543.

Almazan, O., Gonzalez, L., & Galvez, L. (1999). *The sugar cane, its by-products and co-products.* Paper presented at the Proceedings of the Third Annual Meeting of Agricultural Scientists, Réduit, Mauritius, 17-18 November 1998.

Antczak-Chrobot, A., Bąk, P., & Wojtczak, M. (2018). The use of ionic chromatography in determining the contamination of sugar by-products by nitrite and nitrate. *Food Chemistry*, *240*, 648-654.

Babaoğlu, A. S. (2020). *Kurutulmuş bazi sebze tozlarinin fermente sucuk üretiminde alternatif kürleme ajani olarak kullanilabilme imkanlari.* (Doktora Tezi). Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bahra, M., Kapil, V., Pearl, V., Ghosh, S., & Ahluwalia, A. (2012). Inorganic nitrate ingestion improves vascular compliance but does not alter flow-mediated dilatation in healthy volunteers. *Nitric Oxide*, *26*(4), 197-202.

Bakker, E., Engan, H., Patrician, A., Schagatay, E., Karlsen, T., Wisløff, U., & Gaustad, S. E. (2015). Acute dietary nitrate supplementation improves arterial endothelial function at high altitude: a double-blinded randomized controlled cross over study. *Nitric Oxide*, *50*, 58-64.

Bedale, W., Sindelar, J. J., & Milkowski, A. L. (2016). Dietary nitrate and nitrite: Benefits, risks, and evolving perceptions. *Meat science*, *120*, 85-92.

Beşir, B. (2019). *Havuç ve kiraz sapi tozlari ile fermente sucuk üretiminde kullanilan sentetik nitrit miktarinin azaltilabilme imkanlarinin yanit yüzey yöntemi ile modellenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Bondonno, C. P., Yang, X., Croft, K. D., Considine, M. J., Ward, N. C., Rich, L., . . . Hodgson, J. M. (2012). Flavonoid-rich apples and nitrate-rich spinach augment nitric oxide status and improve endothelial function in healthy men and women: a randomized controlled trial. *Free Radical Biology and Medicine, 52*(1), 95-102.

Cassens, R. G. (1990). Nitrite-cured meat: a food safety issue in perspective. *Publications in food science and nutrition (USA)*.

Cook, D., & Scott, R. (1993). The sugar beet crop: science into practice. *Champan and Hall, New York*.

Cortesi, M. L., Vollano, L., Peruzy, M. F., Marrone, R., & Mercogliano, R. (2015). Determination of nitrate and nitrite levels in infant foods marketed in Southern Italy. *CyTA-Journal of Food, 13*(4), 629-634.

Eichholzer, M., & Gutzwiller, F. (1998). Dietary nitrates, nitrites, and N-nitroso compounds and cancer risk: a review of the epidemiologic evidence. *Nutrition reviews, 56*(4), 95-105.

Erkmen, G., Orak, H., & Şatıroğlu, S. (1990). Nitrate and nitrite content of fresh vegetables of Turkish origin. *Turkish Journal of Chemistry, 14*, 196-200.

Erten, H. P. (2019). *Domates ve pirasa tozlari ile fermente sucuk üretiminde kullanilan sentetik nitrit miktarinin azaltilabilme imkanlarinin yanit yüzey yöntemi ile modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Fuchs, D., Nyakayiru, J., Draijer, R., Mulder, T. P., Hopman, M. T., Eijsvogels, T. M., & Thijssen, D. H. (2016). Impact of flavonoid-rich black tea and beetroot juice on postprandial peripheral vascular resistance and glucose homeostasis in obese, insulin-resistant men: a randomized controlled trial. *Nutrition & metabolism, 13*(1), 1-10.

Hobbs, D., George, T., & Lovegrove, J. (2014). Differential effect of beetroot bread on postprandial DBP according to Glu298Asp polymorphism in the eNOS gene: a pilot study. *Journal of human hypertension, 28*(12), 726-730.

Hoffmann, C. M., & Märländer, B. (2005). Composition of harmful nitrogen in sugar beet (Beta vulgaris L.)—amino acids, betaine, nitrate—as affected by genotype and environment. *European Journal of Agronomy, 22*(3), 255-265.

Hughes, W. E., Ueda, K., Treichler, D. P., & Casey, D. P. (2016). Effects of acute dietary nitrate supplementation on aortic blood pressure and aortic augmentation index in young and older adults. *Nitric Oxide, 59*, 21-27.

Hwang, K.-E., Kim, T.-K., Kim, H.-W., Seo, D.-H., Kim, Y.-B., Jeon, K.-H., & Choi, Y.-S. (2018). Effect of natural pre-converted nitrite sources on color development in raw and cooked pork sausage. *Asian-Australasian journal of animal sciences, 31*(8), 1358.

İnce, S., & Türkmen, R. (2007). Afyonkarahisar Bölgesi Şeker Pancarı ve Posasında Nitrat ve Nitrit Düzeylerinin Belirlenmesi.

Jin, S.-K., Choi, J. S., Yang, H.-S., Park, T.-S., & Yim, D.-G. (2018). Natural curing agents as nitrite alternatives and their effects on the physicochemical, microbiological properties and sensory evaluation of sausages during storage. *Meat science, 146*, 34-40.

Jodidi, S. L. (1911). *The Sugar beet and beet sugar*: Beet Sugar Gazette Company.

Jonvik, K. L., Nyakayiru, J., Pinckaers, P. J., Senden, J. M., van Loon, L. J., & Verdijk, L. B. (2016). Nitrate-rich vegetables increase plasma nitrate and nitrite concentrations and lower blood pressure in healthy adults. *The Journal of nutrition, 146*(5), 986-993.

Kapil, V., Khambata, R. S., Robertson, A., Caulfield, M. J., & Ahluwalia, A. (2015). Dietary nitrate provides sustained blood pressure lowering in hypertensive patients: a randomized, phase 2, double-blind, placebo-controlled study. *Hypertension, 65*(2), 320-327.

Kapil, V., Milsom, A. B., Okorie, M., Maleki-Toyserkani, S., Akram, F., Rehman, F., . . . Loukogeorgakis, S. (2010). Inorganic nitrate supplementation lowers blood pressure in humans: role for nitrite-derived NO. *Hypertension, 56*(2), 274-281.

Kavas, M., & Leblebici, M. (2004). Kalite ve İşletme Kontrol Laboratuvarları El Kitabı. *Türkiye Şeker Fabrikaları AŞ Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara*.

Keen, J. T., Levitt, E. L., Hodges, G. J., & Wong, B. J. (2015). Short-term dietary nitrate supplementation augments cutaneous vasodilatation and reduces mean arterial pressure in healthy humans. *Microvascular research, 98*, 48-53.

Liu, A. H., Bondonno, C. P., Croft, K. D., Puddey, I. B., Woodman, R. J., Rich, L., . . . Hodgson, J. M. (2013). Effects of a nitrate-rich meal on arterial stiffness and blood pressure in healthy volunteers. *Nitric Oxide, 35*, 123-130.

Prasad, S., & Chetty, A. A. (2008). Nitrate-N determination in leafy vegetables: Study of the effects of cooking and freezing. *Food Chemistry, 106*(2), 772-780.

Presley, T. D., Morgan, A. R., Bechtold, E., Clodfelter, W., Dove, R. W., Jennings, J. M., . . . Rejeski, W. J. (2011). Acute effect of a high nitrate diet on brain perfusion in older adults. *Nitric Oxide, 24*(1), 34-42.

Rammos, C., Hendgen-Cotta, U. B., Sobierajski, J., Bernard, A., Kelm, M., & Rassaf, T. (2014). Dietary nitrate reverses vascular dysfunction in older adults with moderately increased cardiovascular risk. *Journal of the American College of Cardiology, 63*(15), 1584-1585.

Rodriguez-Mateos, A., Hezel, M., Aydin, H., Kelm, M., Lundberg, J. O., Weitzberg, E., . . . Heiss, C. (2015). Interactions between cocoa flavanols and inorganic nitrate: additive effects on endothelial function at achievable dietary amounts. *Free Radical Biology and Medicine, 80*, 121-128.

Stevanato, P., & Panella, L. (2013). History of Sugarbeets, 17–21. *Idaho Falls: Sugar Producer Magazine*.

Sucu, C., & Turp, G. Y. (2018). The investigation of the use of beetroot powder in Turkish fermented beef sausage (sucuk) as nitrite alternative. *Meat science, 140*, 158-166.

Topal, Z. (2019). *Yeşil biber ve brokoli tozlari ile fermente sucuk üretiminde kullanilan sentetik nitrit miktarinin azaltilabilme imkanlarinin yanit yüzey yöntemi ile modellenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Velmurugan, S., Gan, J. M., Rathod, K. S., Khambata, R. S., Ghosh, S. M., Hartley, A., . . . Curtis, M. (2016). Dietary nitrate improves vascular function in patients with hypercholesterolemia: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *The American journal of clinical nutrition, 103*(1), 25-38.

Webb, A. J., Patel, N., Loukogeorgakis, S., Okorie, M., Aboud, Z., Misra, S., . . . Benjamin, N. (2008). Acute blood pressure lowering, vasoprotective, and antiplatelet properties of dietary nitrate via bioconversion to nitrite. *Hypertension, 51*(3), 784-790.

Alternative Curing Processes in Meat and Meat Products

Nazik Meziyet DİLEK*[1,a], Mustafa KARAKAYA[2,b]
[1]*Department of Nutrition and Dietetics, Akşehir Kadir Yallagöz School of Health, Selçuk University, Konya, Turkey*
[2]*Department of Food Engineering, Agriculture Faculty, Selçuk University, Konya, Turkey*

Abstract

Meat curing preserves meat by removing moisture and reducing water activity as well as improves product forms and provides new products. Nitrate and nitrite used in curing meat products are accepted as a multi-functional additive because it offers a combination of beneficial effects such as cured color and flavor formation in the product, protection against various pathogens and saprophyte microorganisms, especially *Clostridium botulinum*, and controlling lipid oxidation thanks to its antioxidant properties. The fact that the negative effects on health are known today has led to the search for alternative products that can replace nitrate and nitrite, but a single substance that can fulfill all the functions of nitrate and nitrite has not been found yet. Because of the increasing demands to natural and organic products which consumers think that they are healthier, researchers and manufacturers are trying to find alternative methods instead of nitrate and nitrite usage. Recent studies have focused on the use of nitrate source plants, organic acids with antimicrobial properties, bacteriocins with antibacterial properties, as an alternative to the use of chemical nitrate / nitrite. In this study, alternative curing methods used in the production of meat products in order to reduce the use of chemical nitrate/nitrite are compiled.

Keywords: alternative curing, nitrate, nitrite

1. Introduction

Although it is not known exactly when meat curing started in history, it was reported that saltpeter (potassium nitrate) was used as a curing agent in order to provide cured meat properties in 3000 B.C. Curing not only preserves meat, but also improves product forms and obtains new products by removing moisture and reducing water activity. In addition, it was reported that more durable products can be produced thanks to the antioxidant and antimicrobial properties of nitrate and nitrite (Sindelar & Milkowski, 2011).

Nitrate and nitrite used in the curing of meat products were considered as a multifunctional additive because it offers beneficial effects such as the formation of cured color and flavor in the product, protection against various pathogenic and saprophytic microorganisms, especially *Clostridium botulinum*, and controlling lipid oxidation (Sebranek & Bacus, 2007). Today, the fact that their negative effects on health are known has led to the search for alternative products that can replace nitrate and nitrite, but a single substance that can fulfill all the functions of nitrate and nitrite has not been found yet.

2. The Reasons for The Use of Nitrate and Nitrite in Meat Products

It is reported that nitrate, the end product of the biochemical oxidation of organic nitrogen, is a passive curing agent and should be reduced to nitrite, which is more active when used in meat products (Mikuška & Večeřa, 2003). This reduction process is carried out by those with nitrate reductase enzyme among the bacteria found naturally in the structure of meat or added to the formulation as starter culture (Gray, MacDonald, Pearson, & Morton, 1981).

Nitrite is a highly reactive compound that can convert to nitrous acid, nitric oxide and nitrate, acting as an oxidizer, reducing agent, and nitrosyl compounds (Honikel, 2007).

2.1. Effects on Color Formation

It is reported that the first and most prominent effect of nitrate/nitrite in cured meats is on color development. During the curing process, nitrite is reduced to nitric oxide (NO-); oxidizes myoglobin to metmyoglobin with its oxidizing effect. Nitrous acid (HNO_2), nitrous acid, nitrous acid (N_2O_3) and finally nitric oxide (NO) are formed from nitrite in acidic conditions (Alahakoon, Jayasena, Ramachandra, & Jo, 2015). It has been reported that formed nitric oxide combines with iron (Fe^{+3}) in metmyoglobin to form nitrosomyoglobin (NO-metMb) and with iron in myoglobin (Fe^{+2}) to form nitrosomyoglobin (NO-Mb). When heat treatment is applied to the cured product, it is stated that the nitrosohemochromogen pigment responsible for the characteristic light pink color of cured meats is formed as myoglobin is denatured (Parthasarathy & Bryan, 2012). Nitrite should be used at the level of 5 ppm for the development of the cure color and at the level of 20 ppm for the color to remain stable, which is an important parameter in cured meat products (Sebranek & Bacus, 2007).

2.2. Effects on Flavor

Although the functions of the nitrate/nitrite used in the curing process on flavor have not been fully clarified, it is stated that it is caused by the chemical reactions of the nitrite formed by the reduction of nitrate. It is thought that hydrocarbons such as 2.2.4-trimethylhexane, 1.2.4-trimethylcyclohexane and 1.3-dimethylbenzene formed in these reactions are effective in the specific flavor formation of cured products (Sindelar & Milkowski, 2011).

It has been reported that there are components such as hydrocarbon, ketone, alcohol, phenol, ester, furan, pyrazine, aldehyde and other nitrogenous compounds, carboxylic acid, sulfur and nitrate/nitrite in cured meat products, which are not found in meat products without curing process, and they are effective in the formation of flavor (Ramarathnam, Rubin, & Diosady, 1993). On the other hand, it has been stated that nitrate/nitrite has antioxidant properties, delaying lipid oxidation, thus having a positive effect on flavor (Alahakoon et al., 2015). The use of 50 ppm nitrite is sufficient to obtain the desired characteristic taste and flavor in cured meat products (Sindelar & Milkowski, 2011).

2.3. Effects on Microorganisms

Nitrite, which is formed as a result of the reduction of nitrate and is considered as the true curing agent, has bacteriostatic and bactericidal effects in cured meat products (Sebranek & Bacus, 2007). It is reported that antimicrobial activity of nitrite is due to the formation of nitrous acid (HNO_2) component and it can control development of pathogenic microorganisms such as *Clostridium botulinum*, *Listeria monocytogenes, Bacillus cereus, Staphylococcus aureus, Clostridium perfringens* and fish-derived bacterias such as *Achromobacter, Aerobacter, Eschercus* (Parthasarathy & Bryan, 2012).

2.4. Effects on Oxidation

In cured products, the effect of nitrite on oxidation is achieved by several different mechanisms. It has been reported that nitrite limits oxidation by stabilizing unsaturated fatty acids and acting on membrane lipids (Pegg & Shahidi, 2008).

NO, which is a reactive compound formed as a result of the reduction of nitrite, prevents the formation of oxidation by binding heme iron, oxygen and other substances in meat. It has also been reported that NO reduces the free iron formed as a result of cooking and thus prevents the prooxidant activity of free iron (Alahakoon et al., 2015; Parthasarathy & Bryan, 2012). It has been reported that the use of nitrite in cured meat products at a level of 40 ppm would be sufficient to have an antioxidant effect (Al-Shuibi & Al-Abdullah, 2002).

2.5. Effects on Human Health

In the 1980s, it was discovered that nitric oxide, which is synthesized endogenously from arginine or produced by the reduction of nitrite, plays important roles in many physiological processes, and thus, dietary nitrate and nitrite are thought to have beneficial effects on the human body (Bedale, Sindelar, & Milkowski, 2016). Dietary nitrate and nitrite intake have been associated with blood pressure (Hughes, Ueda, Treichler, & Casey, 2016), endothelial function (Velmurugan et al., 2016), arterial stiffness (Hughes et al., 2016; Velmurugan et al., 2016), ischemia reperfusion injury (Kapil et al., 2010) and blood flow (Fuchs et al., 2016) have been reported to have effects on important markers of cardiovascular health. Studies have shown that nitric oxide also has important physiological functions such as cellular signaling molecule, neurotransmitter and vasodilator (Oostindjer et al., 2014).

Although they have beneficial effects in the body, nitrate and nitrite can pose a risk to human health when taken in excessive amounts. Although nitrate ions do not have a direct toxic effect, it has been reported that harmful nitrite ions are formed when they are reduced by microorganisms with nitrate reductase enzyme activity (Bories & Bories, 1995). It has been reported that nitrate reduction begins in the mouth and continues in the stomach, intestines, kidneys and blood (Üren, Erkmen, & Taşlı, 2007). Methemoglobin is formed as a result of the interaction of nitrite in the blood with hemoglobin. The Fe^{+2} ion in the structure of hemoglobin is oxidized by nitrite and converted into Fe^{+3}. It has been stated that this situation reduces or completely prevents the oxygen carrying capacity of hemoglobin in the blood. This condition, called "Methemoglobinemia", is dangerous for young children rather than adults and causes a disease called "blue baby syndrome"(Cemek et al., 2007).

The most important negative effect of nitrite on health is that it combines with secondary amines to form nitrosamines which are determined to be carcinogenic, mutagenic and teratogenic (Roberts & Dainty, 1991). This situation has been mostly associated with stomach and esophageal cancer, since nitrate is swallowed in the mouth after reducing it to nitrite (Hamilton & Meltzer, 2006). It has been reported that nitrite performs many reactions with protein, carbohydrate, lipid, food additives and human digestive system organs (Özdestan & Üren, 2010). For this reason, nitrosamines can be formed in the body as well as in products which included nitrate/nitrite. It has been reported that many factors such as used nitrate/nitrite level, fat content of meat, used other substances in the formulation, quality of used meat, production, ripening, packaging and storage conditions are effective on nitrosamine formation (Herrmann, Granby, & Duedahl-Olesen, 2015). It has been determined that proteins and amino acids are the main components that react with nitrite, also thiocyanate used in formulations increases nitrosamine formation, but ascorbic acid inhibits nitrosamine formation. It has been reported that 8-15 g nitrate will cause severe gastroenteritis, abdominal pain, blood in urine and stool, and fatigue in adults in cases such as uncontrolled use or accidental intake of nitrate/nitrite in foods (Özdestan & Üren, 2010).

3. Alternative methods to nitrate and nitrite

Since chemical nitrate/nitrite provides many functions at the same time in meat and meat products, it is very difficult to reduce the amount of these additives. Because the methods and/or substances used as nitrate/nitrite alternatives are required to provide the desired flavor and color formation in the product by the consumer, and to protect the product against oxidative and microbial spoilage throughout its shelf life by showing antioxidant and antimicrobial effects. For this reason, in studies aimed at reducing the use of nitrate / nitrite, the desired properties have been tried to be achieved by using innovative technologies, plants, organic acids, and microorganisms and their products.

3.1. Use of Plant Sources

Vegetables with high nitrate content, especially beetroot, parsley, dill, celery, chard, lettuce, radish and spinach, have the potential to be used as curing agents in meat products (Özdestan & Üren, 2010). Recent studies presented that synthetic nitrate/nitrite in formulations can be partially or completely replaced by using plant sources as nitrate alternative.

A combination of sodium nitrate, celery, spinach and beetroot powder was used as the curing agent in Italian dry fermented sausage production. It was reported that there was no significant difference between

the samples in terms of residual nitrite content and no pathogenic bacteria growth was observed in the samples. As a result of sensory analysis, it was stated that samples containing celery powder scored comparable to samples containing sodium nitrate (Pennisi, Verrocchi, Paludi, & Vergara, 2020).

It was reported that the use of radish powder in the production of alternative cured meat products is the most suitable sodium nitrite source when compared with chinese cabbage and spinach powder (Jeong, Bae, Yoon, Jeong, & Gwak, 2020).

White Kimchi and Acerola juice powder was used as a natural source of sodium nitrite and sodium ascorbate in cooked pork products. The samples cured with natural sources have lower residual nitrite, higher nitrosohemochromogen and curing efficiency values compared to the control group samples containing 100 ppm sodium nitrite and 500 ppm sodium ascorbate (J. H. Choi, Bae, & Jeong, 2020).

Ozaki et al. (2021) determined that the addition of vegetable powder affected the moisture content, weight loss and water activity values of fermented dry sausages. Furthermore, it was observed that nitrite was formed during ripening in the samples with 1% radish powder and 1% beet powder added.

3.2. Use of Microorganisms and Their Products

Some microorganisms and/or their metabolites are widely used in food preservation because they inhibit or limit the activities of pathogenic or spoiling microorganisms. It has been reported that bacteriocins produced by many lactic acid bacteria have also been used for this purpose. Bacteriocins produced in bacterial ribosomes are defined as antibacterial proteins that inhibit to other closely related bacteria (Hampikyan, 2006).

Li, Kong, Chen, Zheng, and Liu (2013) was observed that the samples in the model system inoculated with *S. xylosus* had significantly higher *a** values and pink color than the control group samples or the samples inoculated with *P. pentosaceus*. In raw meat mixtures, it has been reported that the *a** values of the samples inoculated with *S. xylosus* are similar to the samples with added nitrite.

Demirkol (2019) stated that instead of nitrite in sucuk production, the use of nisin generally has an inhibitory effect on *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* and *Listeria monocytogenes*, and nisin can be used for Gram (+) bacteria, on the other hand it was reported that nisin is more appropriate to use with nitrite for Gram (-) bacteria.

According to Perea-Sanz, López-Díez, Belloch, and Flores (2020), nitrite/nitrate reduction with *Debaryomyces hansenii* inoculation decreased lipid oxidation and generation of derived volatile compounds. It was reported that yeast inoculation limited lipid oxidation and prevented nitrite oxidation and sausage aroma profile was positively affected by *D. hansenii* inoculation which contributed to the generation of potent aroma compounds like ethyl ester compounds and 3-methylbutanal, yeast inoculation counteracted the negative influence of nitrite/nitrate reduction due to its antioxidant capacity, aroma generation and hindered nitrite oxidation.

The reduced nitrite/nitrate amount was replaced using certain strains of lactic acid bacteria (*Lactobacillus plantarum* and *Lactobacillus brevis* strains) for the curing of mechanically separated poultry meat. As a result of the study, it was reported that lactic acid bacteria strains did not have a negative effect on the technological properties of mechanically separated poultry meat, *L. brevis* KL5 strain had a positive effect on nitrosomyoglobin formation, and *L. plantarum* SCH1 strain had an inhibitory effect on *E. coli* (Łaszkiewicz, Szymański, & Kołożyn-Krajewska, 2021).

Lactobacillus plantarum was used as a nitrite alternative in the production of Chinese fermented sausage. As a result, it was concluded that nitrosomyoglobin was produced by the bacteria and the bacteria supports the water retention in the myofibrillar network of the sausages and reduces the risk of biogenic amine formation by reducing the amount of tyramine (Zhu, Guo, & Yang, 2020).

3.3. Use of Organic Acids

Organic acids are the main products produced as a result of fermentation. It was reported that the pH value decreases as a result of increased acidity with the production of organic acids, thus preventing the development of pathogenic and spoiling microorganisms in the final product, restricting undesired proteolytic reactions and creating the typical organoleptic character of the product (Kurt, 2009). Organic acid and its derivatives also can be used in the production of foods to provide the characteristic taste and aroma, to act as a buffer by controlling the pH value in the production and the final product, to have antimicrobial effects against microorganisms, and to prevent for browning and oxidation reactions (Öziş, 2014).

It was reported that the use of sodium lactate contributes to color development and reduction of residual nitrite amount in beef patties (McClure, Sebranek, Kim, & Sullivan, 2011). Similarly; Ramanathan et al. (2011) stated that usage of 2.5% sodium lactate, it has a positive effect on the color stability of lamb meat.

Potassium sorbate and sodium lactate were used to reduce the amount of sodium nitrite in pork sausage production. It was concluded that the effect of potassium sorbate on *Staphylococcus aureus* was weak, but *Staphylococcus aureus* was significantly inhibited when 24 g/kg or more sodium lactate was used (Lin et al., 2018).

It was reported that the use of sodium erythorbate / ascorbic acid to reduce the amount of nitrite increased the cured pigment and red color value, and decreased the residual nitrite and yellow color value (Posthuma, Rasmussen, & Sullivan, 2018).

According to Kim et al. (2019), the use of citric acid has positive effects on lipid oxidation, while the use of malic acid and tartaric acid increases protein degradation. Also these researchers stated that the use of organic acid reduces the residual nitrite and ascorbic acid is the most suitable organic acid to provide various quality properties of cured meats. Similarly; Y.-S. Choi et al. (2017) reported that the use of ascorbic acid reduces the residual nitrite in meat emulsions.

3.4. Use of Innovative Technologies

In order to meet the demands of consumers for healthier, safer and higher quality food, food manufacturers and researchers are also conducting research on new production technologies in order to reduce the use of additives and production methods that can lead to negative consequences in food.

It was reported that high pressure application (400 MPa) and the addition of enterocin (2560 AU/g) inhibited the growth of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella enteritidis* in hams, increasing the shelf life of the product and improving its sensory properties during storage (Liu et al., 2012).

Similar results were obtained in another study where high pressure was applied. It was reported that the combination of high pressure application (350 MPa) with sodium nitrite (50-100 mg/kg) or sodium chloride (1.5-3%) is effective on *Enterobacteriaceae* species, lactic acid bacteria and aerobic mesophilic bacteria in pork (Duranton, Guillou, Simonin, Chéret, & de Lamballerie, 2012).

A method called "atmospheric pressure plasma" has been applied for curing of canned mashed ham. It was concluded that application of the atmospheric pressure plasma method for 30 minutes did not cause differences in physicochemical properties such as nitrosohemochromogen, color, residual nitrite, texture, lipid and protein oxidation of the samples and these samples have higher scores in terms of taste and general acceptability compared to sodium nitrite or celery powder containing 42 mg/kg nitrite (Lee et al., 2018). Similarly, Inguglia, Oliveira, Burgess, Kerry, and Tiwari (2020) reported that the samples cured with plasma activated brine were similar to the control group in terms of texture properties and lipid oxidation, but the a^* color value was significantly higher compare to control group.

The effects of gamma irradiation (0, 1.5, 3, 4.5, 6 kGy) and sodium nitrite (0, 50 and 150 mg/kg) *on Clostridium sporogenes* spores and the technological and sensory properties of cooked hams were investigated. Consequently, it was determined that as the radiation dose increased, the number of surviving spores decreased, but the residual nitrite amount and pH value were not affected by radiation. It has been reported that the application of 50 mg/kg nitrite and 3 kGy irradiation in cooked ham production improves sensory properties and provides microbial safety (Silva et al., 2021).

4. Conclusion

In recent years, as a result of consumers' demand for natural and healthy products without chemical additives, healthier options have been tried to be produced in meat products. For this purpose, studies aiming to reduce the use of synthetic nitrate and nitrite have increased day by day.

Since there is no single substance that performs all the functions of synthetic nitrate and nitrite, it is tried to provide the desired properties in the final product with combined applications. However, it has been reported that undesirable changes may occur in some quality properties of naturally curing products and the desired properties cannot be fully achieved. As a result, it was concluded that more work is needed in this area.

5. References

Al-Shuibi, A., & Al-Abdullah, B. (2002). Substitution of nitrite by sorbate and the effect on properties of mortadella. *Meat science, 62*(4), 473-478.

Alahakoon, A. U., Jayasena, D. D., Ramachandra, S., & Jo, C. (2015). Alternatives to nitrite in processed meat: Up to date. *Trends in Food Science & Technology, 45*(1), 37-49.

Bedale, W., Sindelar, J. J., & Milkowski, A. L. (2016). Dietary nitrate and nitrite: Benefits, risks, and evolving perceptions. *Meat science, 120*, 85-92.

Bories, P. N., & Bories, C. (1995). Nitrate determination in biological fluids by an enzymatic one-step assay with nitrate reductase. *Clinical Chemistry, 41*(6), 904-907.

Cemek, M., Akkaya, L., Birdane, Y. O., Seyrek, K., Bulut, S., & Konuk, M. (2007). Nitrate and nitrite levels in fruity and natural mineral waters marketed in western Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis, 20*(3-4), 236-240.

Choi, J. H., Bae, S. M., & Jeong, J. Y. (2020). Effects of the addition levels of white kimchi powder and acerola juice powder on the qualities of indirectly cured meat products. *Food Science of Animal Resources, 40*(4), 636.

Choi, Y.-S., Kim, T.-K., Jeon, K.-H., Park, J.-D., Kim, H.-W., Hwang, K.-E., & Kim, Y.-B. (2017). Effects of pre-converted nitrite from red beet and ascorbic acid on quality characteristics in meat emulsions. *Korean journal for food science of animal resources, 37*(2), 288.

Demirkol, D. (2019). *Fermente sucuklarda nitrit yerine nisin kullanımının bazı gıda patojenleri üzerine etkileri.*

Duranton, F., Guillou, S., Simonin, H., Chéret, R., & de Lamballerie, M. (2012). Combined use of high pressure and salt or sodium nitrite to control the growth of endogenous microflora in raw pork meat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 16*, 373-380.

Fuchs, D., Nyakayiru, J., Draijer, R., Mulder, T. P., Hopman, M. T., Eijsvogels, T. M., & Thijssen, D. H. (2016). Impact of flavonoid-rich black tea and beetroot juice on postprandial peripheral vascular resistance and glucose homeostasis in obese, insulin-resistant men: a randomized controlled trial. *Nutrition & metabolism, 13*(1), 1-10.

Gray, J., MacDonald, B., Pearson, A., & Morton, I. (1981). Role of nitrite in cured meat flavor: A review. *Journal of Food Protection, 44*(4), 302-312.

Hamilton, J. P., & Meltzer, S. J. (2006). A review of the genomics of gastric cancer. *Clinical Gastroenterology and Hepatology, 4*(4), 416-425.

Hampikyan, H. (2006). *Fermente Sucuklarda Nisin Kullanımının Listeria monocytogenes Üzerine Etkileri* (Doktora Tezi). İstanbul Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.

Herrmann, S. S., Granby, K., & Duedahl-Olesen, L. (2015). Formation and mitigation of N-nitrosamines in nitrite preserved cooked sausages. *Food Chemistry, 174*, 516-526.

Honikel, K. O. (2007). Principles of curing. *Handbook of fermented meat and poultry*, 17-30.

Hughes, W. E., Ueda, K., Treichler, D. P., & Casey, D. P. (2016). Effects of acute dietary nitrate supplementation on aortic blood pressure and aortic augmentation index in young and older adults. *Nitric Oxide, 59*, 21-27.

Inguglia, E. S., Oliveira, M., Burgess, C. M., Kerry, J. P., & Tiwari, B. K. (2020). Plasma-activated water as an alternative nitrite source for the curing of beef jerky: Influence on quality and inactivation of Listeria innocua. *Innovative Food Science & Emerging Technologies, 59*, 102276.

Jeong, J. Y., Bae, S. M., Yoon, J., Jeong, D. H., & Gwak, S. H. (2020). Effect of using vegetable powders as nitrite/nitrate sources on the physicochemical characteristics of cooked pork products. *Food Science of Animal Resources, 40*(5), 831.

Kapil, V., Milsom, A. B., Okorie, M., Maleki-Toyserkani, S., Akram, F., Rehman, F., . . . Loukogeorgakis, S. (2010). Inorganic nitrate supplementation lowers blood pressure in humans: role for nitrite-derived NO. *Hypertension, 56*(2), 274-281.

Kim, T.-K., Hwang, K.-E., Lee, M.-A., Paik, H.-D., Kim, Y.-B., & Choi, Y.-S. (2019). Quality characteristics of pork loin cured with green nitrite source and some organic acids. *Meat science, 152*, 141-145.

Kurt, E. (2009). *Sucukta organik asit kompozisyonuna farklı karbonhidrat kaynaklarının etkisi.* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Łaszkiewicz, B., Szymański, P., & Kołożyn-Krajewska, D. (2021). The effect of selected lactic acid bacterial strains on the technological and microbiological quality of mechanically separated poultry meat cured with a reduced amount of sodium nitrite. *Poultry Science, 100*(1), 263-272.

Lee, J., Jo, K., Lim, Y., Jeon, H. J., Choe, J. H., Jo, C., & Jung, S. (2018). The use of atmospheric pressure plasma as a curing process for canned ground ham. *Food Chemistry, 240*, 430-436.

Li, P., Kong, B., Chen, Q., Zheng, D., & Liu, N. (2013). Formation and identification of nitrosylmyoglobin by Staphylococcus xylosus in raw meat batters: A potential solution for nitrite substitution in meat products. *Meat science, 93*(1), 67-72.

Lin, L., Hu, J. Y., Wu, Y., Chen, M., Ou, J., & Yan, W. L. (2018). Assessment of the inhibitory effects of sodium nitrite, nisin, potassium sorbate, and sodium lactate on Staphylococcus aureus growth and staphylococcal enterotoxin A production in cooked pork sausage using a predictive growth model. *Food Science and Human Wellness, 7*(1), 83-90.

Liu, G., Wang, Y., Gui, M., Zheng, H., Dai, R., & Li, P. (2012). Combined effect of high hydrostatic pressure and enterocin LM-2 on the refrigerated shelf life of ready-to-eat sliced vacuum-packed cooked ham. *Food Control, 24*(1-2), 64-71.

McClure, B. N., Sebranek, J. G., Kim, Y. H., & Sullivan, G. A. (2011). The effects of lactate on nitrosylmyoglobin formation from nitrite and metmyoglobin in a cured meat system. *Food Chemistry, 129*(3), 1072-1079.

Mikuška, P., & Večeřa, Z. (2003). Simultaneous determination of nitrite and nitrate in water by chemiluminescent flow-injection analysis. *Analytica chimica acta, 495*(1-2), 225-232.

Oostindjer, M., Alexander, J., Amdam, G. V., Andersen, G., Bryan, N. S., Chen, D., . . . Haug, A. (2014). The role of red and processed meat in colorectal cancer development: a perspective. *Meat science, 97* (4), 583-596.

Ozaki, M. M., Munekata, P. E., Jacinto-Valderrama, R. A., Efraim, P., Pateiro, M., Lorenzo, J. M., & Pollonio, M. A. R. (2021). Beetroot and radish powders as natural nitrite source for fermented dry sausages. *Meat science, 171*, 108275.

Özdestan, Ö., & Üren, A. (2010). Gıdalarda nitrat ve nitrit. *Akademik Gıda, 8*(6), 35-43.

Öziş, G. (2014). *Bazi organik asit ve tuzlarinin fermente sucuğun bazi özellikleri üzerindeki etkileri.* (Yüksek Lisans Tezi). Abant İzzet Baysal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Parthasarathy, D. K., & Bryan, N. S. (2012). Sodium nitrite: The "cure" for nitric oxide insufficiency. *Meat science, 92*(3), 274-279.

Pegg, R. B., & Shahidi, F. (2008). *Nitrite curing of meat: The N-nitrosamine problem and nitrite alternatives*: John Wiley & Sons.

Pennisi, L., Verrocchi, E., Paludi, D., & Vergara, A. (2020). Effects of vegetable powders as nitrite alternative in Italian dry fermented sausage. *Italian Journal of Food Safety, 9*(2).

Perea-Sanz, L., López-Díez, J. J., Belloch, C., & Flores, M. (2020). Counteracting the effect of reducing nitrate/nitrite levels on dry fermented sausage aroma by Debaryomyces hansenii inoculation. *Meat science, 164*, 108103.

Posthuma, J. A., Rasmussen, F. D., & Sullivan, G. A. (2018). Effects of nitrite source, reducing compounds, and holding time on cured color development in a cured meat model system. *LWT, 95*, 47-50.

Ramanathan, R., Mancini, R. A., Joseph, P., Yin, S., Tatiyaborworntham, N., Petersson, K. H., . . . Konda, M. R. (2011). Effects of lactate on ground lamb colour stability and mitochondria-mediated metmyoglobin reduction. *Food Chemistry, 126*(1), 166-171.

Ramarathnam, N., Rubin, L. J., & Diosady, L. L. (1993). Studies on meat flavor. 4. Fractionation, characterization, and quantitation of volatiles from uncured and cured beef and chicken. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 41*(6), 939-945.

Roberts, T., & Dainty, R. (1991). Nitrite and nitrate as food additives: Rationale and mode of action. *Nitrates and Nitrites in food and water*, 113-124.

Sebranek, J. G., & Bacus, J. N. (2007). Cured meat products without direct addition of nitrate or nitrite: what are the issues? *Meat science, 77*(1), 136-147.

Silva, D. R., Haddad, G. B., de Moura, A. P., de Souza, P. M., Ramos, A. L., Hopkins, D. L., & Ramos, E. M. (2021). Safe cured meat using gamma radiation: Effects on spores of Clostridium sporogenes and technological and sensorial characteristics of low nitrite cooked ham. *LWT, 137*, 110392.

Sindelar, J. J., & Milkowski, A. L. (2011). Sodium nitrite in processed meat and poultry meats: a review of curing and examining the risk/benefit of its use. *American Meat Science Association White Paper Series, 3*, 1-14.

Üren, A., Erkmen, İ., & Taşlı, E. (2007). *Marul ve ıspanakta nitrit ve nitrat tayini.* (Lisans Tezi). Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü.

Velmurugan, S., Gan, J. M., Rathod, K. S., Khambata, R. S., Ghosh, S. M., Hartley, A., . . . Curtis, M. (2016). Dietary nitrate improves vascular function in patients with hypercholesterolemia: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. *The American journal of clinical nutrition, 103*(1), 25-38.

Zhu, Y., Guo, L., & Yang, Q. (2020). Partial replacement of nitrite with a novel probiotic Lactobacillus plantarum on nitrate, color, biogenic amines and gel properties of Chinese fermented sausages. *Food Research International, 137*, 109351.

Şeker Mısırında Farklı Organik Gübre Kaynaklarının Bazı Tarımsal ve Teknolojik Özellikler Üzerindeki Etkileri

Recep ŞAHİN[1,a], Gizem COŞKUN[1,b], Bilge BAHAR*[2,c], Cemalettin BALTACI[2,d]
[1]Gumushane University, Institute of Natural Sciences, Field Crops Department, 29100, Gumushane
[2]Gumushane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Food Eng. Department, 29100, Gumushane

Öz

Bu çalışma, Kahramanmaraş koşullarında kimyasal gübreye alternatif olarak farklı organik gübre kaynaklarının, şeker mısırında verim ve verim unsurları ile bazı teknolojik özellikleri üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Deneme, tesadüf blokları deneme deseninde üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Bu çalışmada, bitki materyali olarak Merit F_1 şeker mısırı çeşidi kullanılmıştır. Gübre uygulamalarında ise sıfır (kontrol) gübre uygulamasına ilaveten, hektara 100 kg saf N, 100 kg P_2O_5 ve 100 kg K_2O gübre dozunu verecek şekilde mineral gübre kaynağı olarak 15.15.15 kompoze ticari gübre ile mineral gübredeki azot dozuna denk gelecek şekilde, organik gübre kaynaklarından kanatlı gübresi, çiftlik gübresi, fermente gübre, solucan gübresi ve leonardit kullanılmıştır. Çalışma sonunda, farklı gübre kaynaklarının bitki boyu, koçan sayısı, koçan uzunluğu, kavuzlu koçan çapı ve koçan randımanı gibi tarımsal özellikler bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Buna göre, kontrol hariç tüm gübre kaynaklarının 208.33-216.67 cm arasında değişen yüksek bitki boyu verdiği; en yüksek koçan sayısının (143 333 adet ha^{-1}) kanatlı gübresinden; en yüksek koçan uzunluğu (30.10 cm) ve en yüksek kavuzlu koçan çapının (61.57 mm) leonardit gübresinden; en yüksek koçan randımanının (%71.63) çiftlik gübresinden elde edildiği belirlenmiştir. Koçanda fizyolojik kayıp bakımından ise sadece birinci günde gübre kaynakları arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuştur. Buna göre en fazla kayıp kanatlı gübresinde (%20), en az kayıp kontrol uygulamasında (%9) gerçekleşmiştir.

Gübre kaynakları, indirgen şeker, toplam şeker, bin dane ağırlığı ve ham protein gibi teknolojik özellikler bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermiştir. Buna göre, indirgen şeker diğer gübre kaynaklarına göre çiftlik gübresinde (%7.85); toplam şeker kontrol (%10.61), çiftlik (9.87%), mineral (10.05%) ve kanatlı (10.10%) gübrelerinde; bin dane ağırlığı kanatlı gübresinde (53.46 g) ve ham protein leonardit gübresinde (%12.31) en yüksek değerler göstermiştir.

Sonuç olarak, şeker mısırında kimyasal gübreye alternatif organik gübre kaynaklarının her birinin farklı tarımsal ve/veya teknolojik özellikler üzerinde farklı etkilerde bulunması nedeniyle, şeker mısırı tarımında öne çıkan talepler dikkate alınarak organik gübreleme yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Gübre, Kalite, Şeker mısırı, Verim

Effects of Different Organic Fertilizers on Some Agricultural and Technological Traits in Sweet Corn

Abstract

This study was carried out to determine the effects of different organic fertilizer sources as an alternative to chemical fertilizers on some agricultural and technological traits of sweet corn (*cv* Merit F_1) in Kahramanmaraş conditions. The trial was conducted in a randomized block design with three replications. Zero (control) fertilizer (ZF); 15.15.15 compound fertilizer as mineral fertilizer (MF); organic fertilizers such as poultry manure (PM); farm manure (FM); fermented manure (FRM); worm manure (WM) and leonardite (L) were used and all fertilizer sources are based on 100 kg pure N ha^{-1}. In the study, fertilizer sources showed statistically significant differences for some agricultural traits such as plant height (PH), number of cobs (NC), cob length (CL), husked cob diameter (HCD) and cob ratio (CR). Thus, all fertilizers except ZF gave high PHs (208.33 cm to 216.67 cm). The highest NC (143 333 no ha^{-1}) from PM; the highest CL (30.10 cm) and the highest HCD (61.57 mm) were from L. The highest CR (71.63%) was from FM. Also, physiological loss in the cob was tested for seven days; but it showed statistically significant differences for the first day. So, the highest loss was from PM (20%) while the least loss was from ZF (9%).

Fertilizers showed statistically significant differences for technological traits such as reducing sugar (RS), total sugar (TS), thousand kernel weight (TKW), and crude protein (CP). Thus, RS for FM (7.85%) was the highest. The highest TS values were from ZF, FM, MF, and PM (respectively, 10.61%, 9.87%, 10.05%, and 10.10%). TKW was the highest (53.46 g) in PM. And, GM was the highest (9.73%) in MF and the highest CP (12.31%) was from L application.

As a result, organic fertilizers should be applied considering the prominent demands in sweet corn farming, since they have different effects on different agricultural and technological traits.

Key words: Fertilizer, Quality, Sweet corn, Yield

*[c] Sorumlu YAZAR; bilgebahar74@gmail.com, Tel: (0456) 233 10 00, orcid.org/0000-0003-3985-8381
[a] orcid.org/0000-0002-7409-0761- [b] orcid.org/0000-0003-1977-4738- [d] orcid.org/0000-0002-4336-4002

1. Giriş

Gelişmekte olan ve gelişmemiş ülkelerin besin ihtiyaçlarının %70'ini bitkisel ürünler oluşturmaktadır. Tahıl grubu bitkiler, beslenmede en çok kullanılan bitkisel ürünlerdir. Bu nedenle kısa sürede daha fazla verim veren ürünlere yönelenerek, daha fazla nüfusun beslenmesi için çalışılmaktadır. Mısır da kısa sürede yetişen ve yüksek verim veren bir tahıl cinsi olduğundan; dünyadaki en önemli bitkiler arasındadır (Panda vd., 2004). Dünyada mısır, insan gıdası ve hayvan yemi olarak kullanımının yanı sıra sanayide nişasta, şeker, endüstriyel alkol, viski vb. yapımında, mısır çerezi, un, irmik, pastahane ürünleri, şekerleme, çikolata, konserve, yağ ve ekmek olarak kullanım alanları bulunmaktadır. Mısır bitkisi, dünyada 193.7 milyon ha alanda, 1.15 milyar ton üretim ile ilk sırada ekilen tahıl ürünüdür. Onu 167.1 milyon ha ekim alanı ve 782 milyon ton üretim ile çeltik, 214.3 milyon ha ve 734 milyon ton ile buğday izlemektedir. Dünyada üretilen mısırın %27'si, ülkemizde ise %35'i insan beslenmesinde kullanılmaktadır (Kırtok, 1998; Gençtan vd., 1995). Doğrudan insan gıdası olarak kullanılan mısırların başında taze veya işlenerek tüketilen şeker mısırı gelmektedir (Sakin ve Azapoğlu, 2017). Dünyada sebze olarak tüketilen şeker mısırı, içerdiği yüksek miktardaki şeker oranı ile diğer mısır çeşitlerinden ayrılmaktadır (Eser, 2014). Taze tüketim amacıyla genellikle sert mısır ve at dişi mısır çeşitlerinin sunulduğu dikkate alındığında, Türkiye'de şeker mısırının üretim ve tüketim potansiyelinin oldukça fazla olduğu söylenebilir (Sencar vd., 1999; Turgut ve Balcı, 2002).

Ekonomik olarak önemi ve yetiştirme alanları giderek artan şeker mısırında endüstriyel anlamda bazı teknolojik ve kalite özellikleri aranmaktadır. Bunlar arasında danenin şeker içeriği, dane rengi ve dane randımanı ilk sırada gelmektedir (Bozokalfa ve Eşiyok, 2006). Diğer mısır çeşitlerine göre daha yüksek şeker içeriği nedeniyle şeker mısırı, yüksek ekonomik değere sahiptir. Yerel çeşitlerde %9-11 arasında değişen şeker içeriği, bazı varyetelerde %14-18 oranında olabilmekte ve bu içerik ile neredeyse şeker kamışına (%19) yaklaşmaktadır (Burcu, 2016). Şeker mısırının 100 gramı, 96 cal enerji, 3.5 g protein, 1.0 g yağ, 22.8 g

karbonhidrat, 3.0 mg kalsiyum, 111 mg fosfor, 0.7 mg demir, 400 SI A vitamini, 0.15 mg B vitamini, 12.0 mg C vitamini ve 72.7 g su içermektedir (Lingga ve Marsono, 2007). Yüksek şeker ve düşük nişasta konsantrasyonu, mısırın zamanında hasat edilmesi ile artan aroması, ürünün tüketim kalitesini artırmaktadır (Ibrahim, 2019). Ayrıca, meyve kabuğu oranıyla ilişkili olan yumuşaklık özelliği de, şeker mısırında aranan kalite kriterlerindendir (Azanza vd., 1996). Olgunlaşan taneleri saydam ve buruşuk olan şeker mısırı süt olum döneminde hasat edilir. Olgunlaşan tanelerde şeker oranı düşük olmasına rağmen tatlılık devam etmektedir. Protein ve yağ oranı diğer mısır türlerine göre oldukça yüksektir. Süt olum döneminde hasat edilen şeker mısırı tanelerinin besin değeri de yüksektir (Burcu, 2016). Şeker mısırının çok kısa bir hasat olgunluğu süresi bulunması nedeniyle; dane kalitesi, hasat süresi uzadıkça düşmeye başlar. Bununla birlikte, erken hasat edildiğinde olgunlaşmamış koçanlar, daha küçük dane çapı ile cılız, sulu ve şeker eksikliği göstermektedir. Hasat biraz geciktiğinde ise, şekerden çok nişastanın ağır bastığı; danelerin sert ve dişli (çökük) yapıda olduğu görülmektedir. Bu anlamda, standart şeker mısırı çeşitleri, dane neminin %70-72 arasında olduğu dönemde (Marshall ve Tracy, 2003), sabah saatlerinde hava neminin yüksek ve sıcaklığın düşük olduğu zamanda (Pereira Filho, 2003; Caniato vd, 2007), lezzetin en yüksek olduğu dönemde ve mısıra zarar veren zararlıların zarara en az neden olduğu zamanda hasat edilmelidir (Fornasieri Filho vd, 1988). Bitkisel üretimde verimi arttırmak ve azalan besin elementlerini tekrar takviye etmek için en önemli pay gübreye aittir. Gübreleme ile %60'a varan ürün artışı sağlanabilmektedir (Sezen, 1991). Zamanında ve uygun dozlarda verilen gübreler verim ve kaliteyi arttırmaktadır. Gübre, bitkilerin bütün gelişme dönemlerinde etkili olmakta, tohumun çimlenmesi gübre dozuna bağlı olarak değişim göstermekte; verim ve kalite ise uygulanan gübrenin cins ve dozu ile veriliş tekniğine bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle gübre dozunun doğru olarak belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Gübre kullanımında amaç, fazla gübre kullanmak değil, çevre kirliliğine neden olmadan ekonomik düzeyi belirleyerek en yüksek verimi alabilmektir (Öktem, 1996).

İnorganik (kimyasal) gübrelerin bitkilerce alımı, rafine olmalarından dolayı daha hızlı olmakta ve gübreye tepkileri daha kısa sürede gözlenebilmekteyken; organik gübrelerin topraktaki çözünürlüğü yavaş olmakta ve bitkilerce alımı da yavaşlamaktadır (Mullin, 2018). Yani bunların bitkiler tarafından alımında farklılıklar olmaktadır. Konvansiyonel tarımda kimyasal gübreler, bitki verimliliği ve bitkilerin besin elementi noksanlıklarına hızlı yanıt verebilmeleri bakımından önemli yer tutsa da, toprak sağlığı düşünüldüğünde çevre kirliliği oluşturan bir unsur olarak karşımıza çıkmakta; dolayısıyla sürdürülebilir tarım açısından uyumlu görünmemekte (Kalloo, 2003); toprak organik madde içeriğinin zamanla düşmesine neden olmakta ve toprak verimliliğini de düşürmektedir (Laudicina vd., 2011). Organik yetiştiricilikle, sadece toprak sağlığı düzeltilmemekte (Dimitri ve Greene, 2002); aynı zamanda yüksek getirisi nedeniyle çiftçiler için de, konvansiyonel üretime göre karlı görünmektedir (Oberholtzer vd., 2005). Yapılan çalışmalarda, organik gübre kullanımı hem tarımsal üretimin devamlılığı hem de maliyetlerin düşürülmesi, yani ekonomik olarak karlılık için önemli bir yöntemdir. Tarımsal üretimde maliyetlerin düşmesi hem üreticinin kar payını artıracak, hem de tüketicinin ürünü daha fazla tüketmesini sağlayacaktır. Kimyasal gübre kullanılarak elde edilen ürünlerde, hem çevre kirliliği hem de gıda kirliliği oluşmakta; bununla birlikte tarımsal üretimin sürekliliği tehlikeye girmektedir. Bu sıkıntıların oluşmasına engel olmak için organik gübreleme yöntemiyle üretim yapmak büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, kimyasal gübreye alternatif olarak farklı organik gübre kaynaklarının, şeker mısırının sadece verim ve verim unsurları gibi tarımsal özellikleri üzerine değil, aynı zamanda teknolojik özellikler üzerindeki etkilerinin de incelenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Çalışmada, şeker mısırı olarak Merit F_1 çeşidi materyal olarak kullanılmıştır. Çeşit orta erkenci, yatmaya dayanıklı 210-220 cm boylarında, 80-90 cm koçan yüksekliğine sahip, hafif konik şekilli koçanları bulunan, daneler açık sarı, ortalama koçan uzunluğu 20-21 cm, koçan çapı ortalaması 5.4 cm, koçandaki sıra sayısı 16-18, diş derinliği 10-11 cm, kavuz kapaması iyi, yüksek verime sahip, stres koşullarına yüksek uyumlu, hasat sonrası raf ömrü uzun, taze tüketime ve sanayide kullanıma uygun özellikleri taşımaktadır.

2.2. Deneme Alanı ve Toprak Özellikleri

Deneme alanı, 37.5° 37′ kuzey enlem ve 36.9° 17′ doğu boylam dereceleri arasında yer almakta olup; 460 m rakıma sahiptir. Bölge iklim özellikleri bakımından Akdeniz iklimi etkisi altında olup gece gündüz arasındaki sıcaklık farkı azdır (Anonim, 2020a).

Arazi çalışmaları, Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu Müdürlüğü deneme arazisinde yürütülmüştür. Deneme alanının 30 cm derinliğinden alınan toprak örnekleri Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma İstasyonu Müdürlüğü'ne ait toprak laboratuvarında analiz edilmiştir. Bu analiz sonucundan elde edilen bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1'de verilmiştir (Anonim 2020b).

Çizelge 1. Deneme alanına ait toprak özellikleri

Derinlik (cm)	30
Tekstür Sınıfı	Tınlı
pH	7.57
EC (mS/cm)	425
Organik madde (%)	0.96
Kireç (%)	18.93
K_2O (kg ha^{-1})	439.0
P_2O_5 (kg ha^{-1})	31.1
Ca (ppm)	10202.81
Mg (ppm)	414.52
Fe (ppm)	7.99
Cu (ppm)	1.34
Mn (ppm)	13.31
Zn (ppm)	0.56

2.3. Ekim ve Bakım İşleri

Deneme, tesadüf blokları deneme desenine göre 3 tekerrürlü olarak Kahramanmaraş'ta, Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırma Enstitüsü arazisinde kurulup yürütülmüştür. Deneme parselleri, 5m uzunluğunda, 4 sıradan oluşmaktadır. Parseller arasında (her dört sırada bir) 70 cm boşluk bırakılırken, bloklar arasında 2 m boşluk bırakılmıştır. Ayrıca, sıra arası 70 cm, sıra üzeri 20 cm, ekimde parsel alanı 14 m^2 olup, ekim derinliği 5-6 cm olarak ayarlanmıştır.

Deneme yeri, ekim öncesi (sonbaharda) pullukla derin sürüm yapılarak işlenmiş ve ekimden hemen önce kültivatör ve gobledisk ile sürülüp, ardından tapan çekilmiştir. 21 Nisan 2020 tarihinde mibzer ile ekim yapılmış; gübre uygulamaları, hektara 100 kg saf azot gelecek şekilde ekimle birlikte (20 cm derinlikte) toprağa karıştırılmıştır. Mısırlar ekimden 15 gün sonra çıkış göstermiş ve her parselde 100 bitki olacak şekilde seyreltme yapılmıştır. Sıra aralarında ve parsel aralarında oluşan yabancı otlar elle uzaklaştırılmıştır. Bitkiler 15-20 cm yüksekliğe ulaştığında ilk çapa, 20-30 cm olduğunda ikinci çapa 40-50 cm olduğunda üçüncü çapa traktörle yapılmış olup, üçüncü çapadan bir hafta sonra ise lister çekilerek deneme sulamaya hazır hale getirilmiştir. Sulama işlemleri lister çekildikten bir hafta sonra yapılmış olup, çiçeklenme öncesi ve süt olum döneminde bitkilerin hassasiyeti göz önüne alınarak yedi gün arayla sulama yapılmış ve hasat zamanına kadar toplamda dört kez su verilmiştir. İlaçlama olarak bitkinin çıkış döneminde yeni çıkan mısır fidelerine zarar veren danaburnu (*Gryllotalpa gryllotalpa)* böceğine karşı kepekle karışım yapılarak %25 Chlorprifos ethyl etken maddeli insektisit kullanılmıştır. Mısırların çiçek açtıkları dönemde görülmeye başlanan yaprak bitine (*Aphididea*) karşı, %20 Acetamiprid etken maddeli insektisit kullanılmıştır. Hasat işlemi, 7 Temmuz tarihinde bitkiler süt olum dönemine geldiğinde (%70-75 süt içeriğine ulaştığında) her parseli temsil eden orta iki sıradaki 10 koçan elle toplanmış ve danelenmiştir.

2.4. Tarımsal Özelliklere İlişkin Yapılan Çalışmalar

Tarım ve Orman Bakanlığı, Tohumluk Tescil ve Sertifikasyon Merkezi Müdürlüğü'nün Tarımsal Değerleri Ölçme Denemeleri Teknik Talimatı'na (Anonim, 2010a) göre aşağıdaki özellikler incelenmiştir.

a) Çiçeklenme Süresi (gün): Parseldeki bitkilerin %50'sinin, ekim tarihinden itibaren tepe püskülleri salkımının 1/3 kısmında polen dökme tarihine kadar geçen süre gün olarak çiçeklenme gün sayısı olarak belirlenmiştir.

b) Bitki Boyu (cm): Döllenme sonrası, toprak seviyesinden tepe püskülünün en uçtaki noktasına kadar olan yükseklik alınmıştır.

c) Koçan Yüksekliği (cm): Toprak seviyesinden bitki üzerindeki en üst koçanın bağlı olduğu boğuma kadar olan dikey mesafenin cm olarak ölçümü alınmıştır.

d) Koçan Sayısı (adet parsel^{-1}): Hasattan önce ortadaki 2 sırada bulunan koçan sayısı tespit edilmiştir.

e) Koçan Çapı (cm): Her parselden rastgele 10 koçan seçilerek, bunların orta kısmından çapları ölçülerek ortalaması alınmıştır.

f) Koçan Uzunluğu (cm): Her parselden rastgele 10 koçan seçilerek, uzunluklarının ortalaması alınmıştır.

g)Birim Alanda Taze Koçan Verimi (kg ha^{-1}): Her parselde orta iki sıradan süt olum döneminde (su oranı % 70-75) hasat edilen pazarlanabilir nitelikte, kavuzları çıkarılmış koçanların tartılması ile belirlenmiş (kg parsel^{-1}) ve birim alana çevrilmiştir (kg ha^{-1}).

2.5. Teknolojik Özelliklere İlişkin Analizler

Araştırmada teknolojik özelliklerin analizi Güven Yem Sanayi (Çorum) ve Gümüşhane Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölüm Laboratuvarlarında aşağıdaki başlıklarda verildiği gibi yapılmıştır.

2.5.1. Toplam Şeker ve İnvert Şeker Tayini

Lane-Eynon metoduna göre yürütülen deneyde, 2.0 g örnek sızdırmaz kapaklı tüplere konmuş ve üzerine 10 mL asitlendirilmiş metanol ilave edilmiştşir. Yatay çalkalayıcıda 24 saat boyunca 50 rpm'de çalkalandıktan sonra, önce adi süzgeç kâğıdından süzülmiş ve daha sonra 0.45 mikron filtreden geçirilmiştir. Uygun biçimde öğütülen analiz numunesinden, 0.001 g yaklaşımla 1.0 g tartım yapılmış ve 100 mL'lik ölçülü bir balon jojeye bırakılmıştır. Deney numunesi üzerine 40-50 mL su konularak iyice karıştırılmıştır. Karışım üzerine, 1 mL Carrez I ve 1 mL Carrez II çözeltileri ilave edildikten sonra çalkalanmıştır. Hacim, su ile 100 mL'ye tamamlanarak balon alt üst edilip tam homojenlik sağlanmıştır. Carrez çözeltileri ilave edildiğinde oluşan çökelmeler, kaba gözenekli (siyah bantlı) süzgeç kâğıdından süzülmüş ve süzüntüden, 25 mL alınarak, 100 mL'lik balona aktarılmıştır. Ardından 5 mL derişik HCl ilave edilmiştir. 60 ºC'de 30 dakika inversiyona tabi tutulmuştur. Üzerine 5-6 damla fenolftalein ilave edildikten sonra 5 M NaOH, hafif pembe renk elde edilinceye kadar ilave edilmiştir. Titrasyon amacıyla kuru bir bürete alınmıştır. 100 mL - 150 mL'lik bir erlene, 5 mL Fehling A çözeltisi 5 mL Fehling B çözeltisi 10 mL saf su ve 5 mL deney çözeltisi konulup karıştırılmıştır. Karışım bir ısıtma tablası üzerinde kaynama anı tespit edilmiştir. Kaynama anından itibaren, ısıtma işlemi 2 dakika daha sürdürülmüştür. 2 dakikanın sonunda karışıma, 10 - 12 damla metilen mavisi çözeltisi katılıp karıştırılmış ve büretteki deney çözeltisi ile 3 dakika içinde titrasyon bitirilecek biçimde, mavi renkten kiremit kırmızısı rengine dönünceye kadar titre edilmiştir. Dönüm noktasındaki sarfiyat (S) not edilerek, aşağıdaki formüle göre hesaplama yapılmış ve sonuçlar kuru madde üzerinden verilmiştir (Anonim, 2010b).

$$\%\ İnvert\ Şeker = \frac{125}{S}\ x100$$

$$\%\ Toplam\ Şeker = \frac{250}{S}\ x100$$

2.5.2. Diğer Teknolojik Özellikler

Kuru madde tayini AOAC 925.10 standardına göre elde dilirken; ham protein, Selüloz ADF ve NDF, ham yağ, nem ve nişasta tayinleri, hasattan sonra her parselden elde edilen ve kurutulan dane örneklerinden 100 gram mısır danesi üzerinde NIR cihazından geçirilmek suretiyle elde edilmiştir. Bin tane ağırlığı; süt olumdaki danelerden 400 dane sayılmış ve etüvde 70 ºC'de 48 saat süreyle kurutulup, desikatörde 30 dakika bekletildikten sonra ağırlıkları alınarak, 2.5 ile çarpılmak suretiyle kuru madde bazında hesaplanmıştır. Ham kül tayini, AOAC 923.03 standardına göre elde edilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Tarımsal Özellikler

Gübre kaynakları, tepe püskülü çıkış süresi bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemekle birlikte, bu süre 63.3 (Mineral gübre) ile 64.3 gün (Leonardit) arasında değişim göstermiştir (Çizelge 2). Bazı araştırmacılar, bu değerin üstünde ve altında değerler bulmuşlar; nitekim, Kul (2012), tepe püskülü çıkış süresini 72 gün olarak belirlerken, Eser (2014) 54.7 gün olarak bulmuştur.

Gübre kaynakları, koçan püskülü çıkış süresi bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemiş ve koçan püskülü çıkış süresi ortalaması 67.8 gün olarak belirlenmiştir (Çizelge 2). Kul (2012), Merit F_1 şeker mısırı çeşidinde koçan püskülü çıkış süresini 74.75 gün olarak tespit ederken, Azapoğlu (2013) yaptıkları çalışmalarda koçan püskülü çıkış süresini 53.2 gün olarak saptamışlardır.

Bitki boyu bakımından gübre kaynakları istatistiksel olarak $p<0.01$ önem seviyesinde önemli farklılıklar göstermiş; en kısa bitki boyu (190.67 cm) kontrol uygulamasından elde edilirken, en uzun bitki boyu değerleri 208.33 ile 216.67 cm arasında değişen değerlerde diğer gübre kaynaklarından elde edilmiştir (Çizelge 2). Bu değerler, bitki boyu yönünden gübre kaynakları arasında önemli farklılıkların olduğunu bildiren Eser (2014)'ün bulgularıyla uyum göstermektedir.

İlk koçan yüksekliği bakımından gübre kaynakları arasında istatistiksel olarak önemli farklılıklar görülmemekle birlikte; bu değerler 83.33 cm (kontrol) ile 92.67 cm (Solucan gübresi) arasında değişim göstermiştir (Çizelge 2). Bu değerler, Merit F_1 çeşidinde Uçkesen (2000)'in (40.4 cm) ve İdikut vd. (2005)'nin bulgularının üzerindedir.

Gübre kaynakları, koçan sayısı bakımından istatistiksel olarak $p<0.05$ önem seviyesinde önemli farklılıklar göstermiş; en az koçan sayısı kontrol (128 571 adet ha^{-1}) ve çiftlik gübresi (127 857 adet ha^{-1}) uygulamalarından elde edilirken, en fazla koçan sayısı 143 333 adet ha^{-1} ile kanatlı gübresi uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 2). Bu değerler, Eşiyok ve Bozokalfa (2005) ile Eser (2014)'in bulgularıyla benzerlik göstermektedir.

Koçan uzunluğu bakımından gübre kaynakları, istatistiksel olarak $p<0.01$ önem seviyesinde önemli farklılıklar göstermiş olup; en düşük koçan uzunluğu kontrol (27.00 cm) ve çiftlik gübresi (26.97 cm) uygulamalarından elde edilirken, en yüksek koçan uzunluğu değeri 30.10 cm ile leonardit uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 2). Bu değerler, bazı araştırmacıların sonuçlarından daha yüksek değerler göstermiştir. Buna göre, koçan uzunluğunu Eşiyok vd. (2004) 19.38-21.63 cm arasında, Öktem ve Öktem (2006) 17.25-23.33 cm arasında bulmuşlardır.

Farklı gübre kaynakları, kavuzlu koçan çapı bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p<0.01$) göstermiş; en düşük kavuzlu koçan çapı 59.40 mm ile solucan gübresi uygulamasından, en yüksek kavuzlu koçan çapı 61.57 mm ile leonardit uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 2). Öktem ve Öktem (2006)'in 37.87-47.75 mm arası, Eser (2014)'in 48.09 mm ve Simon ve Balabbo (2015)'nun 53.00 mm kavuzlu koçan çapı değerleri bulgularımızdan daha düşük değerler göstermiştir.

Toplam kavuzlu koçan verimi bakımından gübre kaynakları istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemekle birlikte, bu değerler 44.53 t ha^{-1} (mineral gübre) ile 47.87 t ha^{-1} (leonardit) arasında değişim göstermiştir (Çizelge 2). Yusuff (2007), bulduğu değer (60 t ha^{-1}), bulgularımızın üzerindedir.

Gübre kaynakları, toplam taze koçan verimi bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemekle birlikte; bu değer 30.20 t ha^{-1} (mineral gübre) ile 32.97 t ha^{-1} (leonardit) arasında değişim göstermiş olup (Çizelge 2); bu bulgular bazı araştırmacıların sonuçlarından daha yüksek değerler göstermiştir. Nitekim, Başçifçi ve Kınacı (2012), fasulye ile karışık ekimde toplam taze koçan verimini 9.25-13.6 t ha^{-1} arasında bulurken, Özata (2013), bu değerlerin 8.33-13.19 t ha^{-1} arasında değiştiğini bildirmişlerdir.

Koçan randımanı bakımından gübre kaynaklarının $p<0.05$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar gösterdiği; en düşük koçan randımanının (% 67.87) ile 15-15-15 (NPK) mineral gübresi uygulamasından elde edilirken, en yüksek koçan randımanının % 71.63 ile çiftlik gübresi uygulamasından elde edildiği belirlenmiştir (Çizelge 2). Bu bulgular, bazı araştırmacıların bulgularına göre orta değerler göstermiştir. Bu anlamda, koçan randımanı Eşiyok ve Bozokalfa (2005) tarafından % 68.6-%75.4; Kul (2012) tarafından Merit çeşidinde % 60.7-% 71.9; Başçifçi vd. (2013) tarafından %69-%81.7 arasında bildirilmektedir.

Çizelge 2. Şeker mısırda farklı gübre kaynaklarında tarımsal özelliklere ilişkin ortalama değerler

Gübre kaynağı	Tepe püskülü çıkış süresi (gün)	Koçan püskülü çıkış süresi (gün)	Bitki boyu (cm)	İlk koçan yüksekliği (cm)	Koçan sayısı (adet ha^{-1})	Koçan uzunluğu (cm)	Kavuzlu koçan çapı (mm)	Toplam kavuzlu koçan verimi (t ha^{-1})	Toplam taze koçan verimi (t ha^{-1})	Koçan randımanı (%)
Kontrol	64.0	67. 7	190.67b**	83.33	128 571 d	27.00 c	60.27 d	45.77	32.33	70.70 ab
Çiftlik	63.7	67. 7	208.33 a	85.33	127 857 d	26.97 c	60.50 cd	43.63	31.23	71.63 a
Fermente	63.7	67. 7	212.67 a	89.33	129 523 cd	28.03 b	60.60 bcd	45.76	31.73	69.37 bc
Kanatlı	63.7	67. 7	215.33 a	89.00	143 333 a	28.07 b	60.70 bc	46.97	32.80	69.80 abc
Leonardit	64.3	68. 0	214.33 a	84.33	132 857 bcd	30.10 a	61.57 a	47.87	32.97	68.97bc
Mineral	63.3	67. 7	213.67 a	88.67	137 619 abc	27.90 b	61.00 b	44.53	30.20	67.87 c
Solucan	64.0	68. 0	216.67 a	92.67	140 000 ab	28.47 b	59.40 e	45.63	31.30	68.63 c
Ortalama	63.8	67.8	210.24	87.52	134 251	28.08	60.58	45.74	31.80	69.57
$EGF_{0.05}$	öd	öd	10.30	öd	8761	0.78	0.43	öd	öd	2.00
DK (%)	0.61	0.41	7.98	6.67	3.67	1.57	0.40	4.23	3.73	1.61

*: Aynı harf grupları arasında 0.05 önem seviyesinde istatistiksel olarak fark yoktur. $EGF_{0.05}$ gübre kaynakları ile tarımsal özellikler arasında en küçük güvenilir farkı, DK, değişim katsayısı; öd, önemli değil anlamına gelmektedir.

3.2. Teknolojik Özellikler

İndirgen şeker bakımından gübre kaynakları, istatistiksel olarak $p<0.05$ önem seviyesinde önemli farklılıklar göstermiştir. Buna göre, en düşük indirgen şeker değerleri leonardit (%5.84) ve solucan (%5.95) gübrelerinden elde edilirken, en yüksek indirgen şeker değeri %7.12 ile çiftlik gübresi uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 3). İndirgen şeker oranı, Geeta vd. (2017) tarafından %2.8 olarak bildirilirken, Budak ve Aydemir (2018) bu değeri %2.3 olarak belirlemişlerdir.

Gübre kaynakları, toplam şeker bakımından istatistiksel olarak $p<0.01$ önem seviyesinde önemli farklılıklar göstermiş; toplam şeker oranı en düşük fermente (%8.69), leonardit (%8.65) ve solucan (%8.63) gübrelerinden, en yüksek %9.87-%10.61 arasında değişen oranlarda, diğer gübre kaynaklarından elde edilmiştir (Çizelge 3). Kantarcı vd. (2016), toplam şeker içeriğini %9.22-%13.34 arasında, Geeta vd. (2017) %37.5 olarak belirlemişlerdir.

Bin dane ağırlığı bakımından gübre kaynakları istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p<0.01$) göstermiştir. Buna göre, en düşük bin dane ağırlığı mineral (38.29 g) ve leonardit (42.00 g) gübrelerinden elde edilirken, en yüksek bin dane ağırlığı değerleri çiftlik (50.74 g) ve kanatlı (53.46 g) gübrelerinden elde edilmiştir (Çizelge 3).

Gübre kaynakları, dane kuru madde oranı bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemekle birlikte, bu değerler %22.39-30.84 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 3). Kuru madde oranı, Burcu ve Akgün (2018)'ün çalışmalarında, farklı ekim zamanı ve sıra üzeri mesafelere göre %21.32-25.66 arasında değiştiği belirlenmiştir.

Kül içeriği bakımından farklı gübre kaynakları, istatistiksel olarak önemli farklılıklar göstermemiştir. Bununla birlikte dane kül içeriği, %2.47-3.24 arasında dağılım göstermiştir (Çizelge 3). Geeta vd. (2017), çalışmalarında kül içeriğini %3.4 olarak belirlemişlerdir.

NIR ölçümleri için ham protein, nişasta, ham yağ, ham selüloz, ADF ve NDF analizlerinde kullanılmak üzere açık hava koşullarında kurutulan dane örneklerinde belirlenen nem içeriği, gübre kaynaklarına göre istatistiksel olarak önemli farklılıklar ($p<0.05$) göstermiştir. Buna göre, en düşük dane nem içeriği kontrol uygulamasından (% 9.30) elde edilirken, en yüksek dane nem içeriği değeri ise %9.73 ile mineral gübre uygulamasından elde edilmiştir (Çizelge 3). Budak ve Aydemir (2018), çalışmalarında nem içeriğini %13 olarak belirlemişlerdir.

Ham protein içeriği bakımından $p<0.05$ önem seviyesinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmuş; en düşük ham protein içeriği %11.02 ile kanatlı gübresi uygulamasından elde edilirken, en yüksek dane nem içeriği değerleri %11.08-%12.31 arasında değişen sınırlarda, diğer gübre kaynaklarından elde edilmiştir (Çizelge 3). Budak ve Aydemir (2018), ham protein içeriğini %11.2, Geeta vd. (2017), %9.7 olarak bulduklarını bildirmişlerdir.

Nişasta oranı bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar görülmemekle birlikte; bu oran %44.33 ile 45.99 arasında dağılım göstermiştir (Çizelge 3). Geeta vd. (2017), çalışmalarında nişasta oranını %16.2 olarak bildirmişlerdir.

Ham yağ içeriği bakımından gübre kaynaklarına göre istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmamıştır. Bununla birlikte, ham yağ oranı 2.44-2.67 arasında değişmiştir (Çizelge 3). Budak ve Aydemir (2018), ham yağ içeriğini % 4.6 olarak bulduklarını belirtmişlerdir.

Ham selüloz içeriği bakımından istatistiksel olarak önemli farklılıklar bulunmamakla birlikte, ham selüloz içeriği % 5.46-6.17 arasında değişim göstermiştir (Çizelge 3). Geeta vd. (2017), ham selüloz içeriğini % 2.8 olarak belirlemişlerdir.

ADF ve NDF içeriği bakımından gübre kaynaklarına göre istatistiksel olarak önemli farklılık bulunmamakla birlikte; ADF içeriği %6.14-7.63 arasında, NDF içeriği ise %18.35-19.98 arasında dağılım göstermiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Şeker mısırda farklı gübre kaynaklarında teknolojik özelliklere ilişkin ortalama değerler

Gübre kaynağı	İndirgen şeker (%, KM)	Toplam şeker (%, KM)	Bindane ağırlığı (g, KM)	Dane kuru madde oranı (%)	Kül (%, KM)	Nem (%)	Ham protein (%)	Nişasta (%)	Ham yağ (%)	Ham selüloz (%)	ADF (%)	NDF %
Kontrol	6.81 abc*	10.61 a	48.38 ab	23.57	3.00 d	9.30	11.08 c	45.80	2.44	5.52	6.18	19.13
Çiftlik	7.85 a	9.87 a	50.74 a	22.39	3.24 cd	9.46	11.42 bc	45.99	2.67	5.46	6.14	18.68
Fermente	6.76 abc	8.69 b	42.84 bc	30.84	2.52 ab	9.68	12.27 ab	44.33	2.56	5.97	7.27	19.98
Kanatlı	7.12 ab	10.1 a	53.46 a	28.03	2.47 bcd	9.50	11.02 c	44.77	2.64	5.77	6.45	19.41
Leonardit	5.84 c	8.65 b	42.00 c	27.05	2.74 bc	9.51	12.31 a	44.36	2.58	6.17	7.63	19.74
Mineral	6.73 bc	10.05 a	38.29 c	27.53	2.69 a	9.73	12.20 ab	44.40	2.52	5.99	7.49	20.29
Solucan	5.95 c	8.63 b	43.52 bc	23.51	3.12 cd	9.47	12.00 ab	45.11	2.52	5.79	6.92	18.35
Ortalama	6.72	9.51	45.60	26.13	2.83	9.52	11.76	44.97	2.56	5.81	6.97	19.37
EGF0.05	1.12	1.10	5.91	öd	öd	0.20	0.86	öd	öd	öd	öd	öd
DK (%)	9.38	6.51	7.29	16.00	17.91	1.21	4.12	2.03	3.73	8.74	15.37	9.68

: Aynı harf grupları arasında 0.05 önem seviyesinde istatistiksel olarak fark yoktur. EGF0.05 gübre kaynakları ile teknolojik özellikler arasında en küçük güvenilir farkı; DK, değişim katsayısı; öd, önemli değil anlamına gelmektedir.

4. Sonuç

Şeker mısırda kimyasal gübreye alternatif olarak farklı organik gübre kaynaklarının, şeker mısırında verim ve verim unsurları ile bazı teknolojik özellikler üzerindeki etkilerinin incelendiği tez çalışmasından üretilen bu makalede; elde edilen sonuçlar, toprağın ve bitkinin ihtiyacı olan besin elementlerini takviye etmek için kullanılan gübre kaynaklarından mineral gübreye alternatif olarak kullanılan organik gübre kaynaklarının, tarımsal ve teknolojik özellikler bakımından önemli farklılıklar gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Toprakta yavaş hareket etmesine ve geç çözünmesine rağmen organik gübre kaynaklarının gerek verim unsurları gerekse teknolojik özellikler bakımından kayda değer yüksek sonuçlar ortaya çıkardığı görülmektedir.

Yazarların Katkı Oranları

Bu bildirideki yazarların katkı oranları aşağıdaki gibidir:

Recep ŞAHİN	: Tez yazarı ve analizler (%75)
Gizem COŞKUN	: Şeker analizi ve NIR analizleri (%10)
Bilge BAHAR	: Tez danışmanı ve bildiri metninin düzenlemesi (%10)
Cemalettin BALTACI	: Şeker analizi yönetimi (%5)

Kaynaklar

Anonim.(2010a).https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/TTSM/Belgeler/Tescil/Teknik%20Talimatlar/S%C4%B1cak%20%C4%B0klim%20Tah%C4%B1llar%C4%B1/MISIR_TEKNIK_TALIMATI.pdf. Erişim: 17.04.2020.

Anonim. (2010b). Bal Standartı TS 3036. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara

Anonim. (2020a). https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler istatistik.aspx?k=H. Erişim: 30.04.2020.

Anonim. (2020b). https://arastirma.tarimorman.gov.tr/dagtem. Erişim: 16.04.2020.

Azanza, F., Bar-Zur, A. ve Juvik, J.A. (1996). Variation in sweet corn kernel characteristics associated with stand establishment and eating quality, Euphytica, 87, 7-18.

Azapoğlu, Ö. (2013). Tokat-Kazova koşullarında şeker mısırın (zea mays saccharata sturt.) taze koçan ve tane verimi ile bazı verim ve kalite özelliklerine azot ve fosforun etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat.

Başçiftçi, Z. B, 2012. Şeker mısır ve bodur fasulyenin karışık ekiminde ekim düzenlemeleri ve bazı agronomik özelliklerin belirlenmesi. Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Başçiftçi, Z.B., Alan, Ö., Kınacı, E., Kınacı, G., Kutlu, İ., Sönmez, K. ve Evrenosoğlu, Y. (2013). Bazı şeker mısır çeşitlerinin (zea mays saccharata sturt) teknolojik ve kalite özellikleri, Selçuk Tarım Gıda Bilimleri Dergisi, 27(2), 84-91.

Bozokalfa, M.K. ve Eşiyok, D. (2006). Bazı tatlı mısır genotiplerinin morfolojik variyabilitesi. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 43, 1-12.

Budak, F. and Aydemir, S.K. (2018). Grain yield and nutritional values of sweet corn (zea mays var. saccharata) in produced with good agricultural ımplementation. Nutri Food Sci Int J, 7(2), 555710.

Burcu, Y. (2016). Isparta koşullarında farklı ekim zamanı ve bitki sıklığının şeker mısırında (zea mays saccharata sturt.) taze koçan verimi ve kalite özellikleri üzerine etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Burcu, Y. and Akgün, İ. (2018). Isparta koşullarında farklı ekim zamanı ve bitki sıklığının şeker mısırında (*Zea mays saccharata* Sturt.) taze koçan verimi ve kalite özellikleri üzerine etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), 679-684.

Caniato, F.F., Galvão, J.C.C., Finger, F.L., Puiatti, M., Oliveira, D.A. ve Ferreira, J.L. (2007). Quantificação de açucares solúveis totais, açúcares redutores e amido nos grãos verdes de cultivares de milho na colheita, Ciência e Agrotecnologia, 31(6), 1893-1896.

Dimitri, C. and Greene, C. (2002). Recent growth patterns in U.S. organic foods market. Agricultural Information Bulletin 777, US Department of Agriculture Economic Research Service, 42p.

Eser, C. (2014). Orta Anadolu koşullarında şeker mısır (*Zea mays saccharata* Sturt.) çeşitlerinin taze koçan ve tane verimleri ile önemli agronomik özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Eşiyok, D., Bozokalfa, M.K. ve Uğur, A. (2004). Farklı lokasyonlarda yetiştirilen şeker mısır (*Zea mays* L. *var. saccharata*) çeşitlerinin verim kalite ve teknolojik özelliklerinin belirlenmesi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 41, 1-9.

Eşiyok, D. ve Bozokalfa, M.K. (2005). Ekim ve dikim zamanlarının tatlı mısırda (Zea mays L. *var.* saccharata) verim ve koçanın bazı agronomik karakterleri üzerine etkisi, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 42(1), 35-46.

Fornasieri Filho, D., Castellane, P.D. and Decaro, S. (1988). Competição de cultivares de milho doce, Horticultura Brasileira, 6(1),20-22.

Geeta, H.P., Palanimuthu, V. ve Srinivas, G. (2017). Study of some physıco-chemıcal propertıes of sweet corn, International Journal of Agricultural Science and Research, 7(1), 277-286.

Gençtan, T., Emeklier, Y., Çölkesen, M. ve Başer, İ. (1995). Sıcak iklim tahılları tüketim projeksiyonları ve üretim hedefleri. Ziraat Mühendisliği 4. Teknik Kongresi, Ankara, 429-448.

Ibrahim, A. I. A. ve Alfauomy, G.A. (2019). Evaluation of some sweet corn hybrids for agronomic traits and technological parameters under different planting dates, Journal of Food Sciences, 6 (1), 49-63.

İdikut, L., Cesur, C. ve Tosun, S. (2005). Şeker mısırında ekim zamanı ve yetiştirme tekniğinin hasıl verim ve bazı özelliklere etkisi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(1), 91-100.

Kantarcı, D., Pazır, F., İştipliler, D., Tosun, M. ve Aykut Tonk, F. (2016). Tatlı mısırın kalite kriterlerine göre optimum hasat zamanının belirlenmesi, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi, 25 (Özel sayı-1), 70-73.

Kalloo, K. (2003). Research and extension activities on organic agriculture in India. Proc. Organic Farming in Horticulture for Sustainable Production, 29-30 August, CISH, Lucknow, pp. 1.

Kırtok, Y. (1998). Mısır üretimi ve kullanımı. Kocaoluk Yayınevi, İstanbul, 445s.

Kul, E.M. (2012). Eskişehir koşullarında sıra arası mesafe ve ekim zamanının seker mısırın bazı tarımsal özelliklerine etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Laudicina, V.A., Badalucco, L. and Palazzolo, E. (2011). Effects of compost input and tillage intensity on soil microbial biomass and activity under mediterranean conditions, Biology and Fertility of Soils, 47, 63-70.

Lingga, P. and Marsono. (2007). Instructions for Use Fertilizer, Penebar Swadaya, Jakarta, 87 p.

Marshall, S.W. and Tracy, W.F. (2003). Sweet corn. In: Ramstad P.E., White P. (eds): Corn Chemistry and Technology, American Association of Cereal Chemists, Minneapolis, 45(2), 537-569.

Mullin, S., 2018. The effects of inorganic fertilizers. Available at https://www.hunker.com/12391088/the-effects-of-inorganic-fertilizers. Accessed in April 20, 2020.

Oberholtzer, L., Dimitri, C. and Greene, C. (2005). Price premiums hold on as U.S. organic produce market expands, USDA Economic Research Service, 308(1), 22-30.

Öktem, A. (1996). Harran ovası koşullarında II. ürün olarak yetiştirilebilecek 10 mısır genotipinde farklı dozlarda uygulanan fosforun verim ve verim unsurlarına etkisi. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Öktem, A. ve Öktem, A.G. (2006). Bazı şeker mısır (*Zea mays saccharata* Sturt.) genotiplerinin Harran ovası koşullarında verim karakteristiklerinin belirlenmesi, Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(1), 33-46.

Özata, E. (2013). Şeker mısırda (*Zea mays saccharata* Sturt.) ekim sıklığı ve azot dozlarının taze koçan verimi ile verim öğeleri üzerine etkisi. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarla Bitkileri Anabilim Dalı, Ankara.

Panda, R.K., Behera ,S.K.,ve Kashyap ,P.S. (2004). Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions, Agricultural Water Management, 66, 181-203.

Pereıra Fılho, I.A. (2003). O cultivo do milho-verde. 1ed. Brasília: Embrapa, 204 p.

Sakin, M. ve Azapoğlu, Ö. (2017). Tokat-Kazova koşullarında şeker mısırın (zea mays saccharata sturt.) taze koçan ve tane verimi ile bazı verim ve kalite özelliklerine azot ve fosforun etkileri, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 34 (3), 46-55.

Sencar, Ö., Gökmen, S., Sakin M.A. ve Ocakdan, M. (1999). Şeker mısırında (*Zea mays saccharata* Sturt.) koltuk almanın verim ve bazı özelliklere etkileri. Türkiye 3. Tarla Bitkileri Kongresi, 15-18 Kasım 1999, Cilt I, Genel ve Tahıllar s: 456-461, Adana.

Sezen, Y. (1991). Gübreler ve Gübreleme. Atatürk Üniversitesi Yayınları No, 679, Ziraat Fakültesi Yayın No, 303, Ders Kitapları Seri No, 55, Erzurum.

Simon, S.R. ve Balabbo, F.P. (2015). Yield performance of sweet corn (zea mays var. saccharata) using vermicompost as a component of balanced fertilization strategy, International Journal of Chemical, Environmental & Biological Sciences (IJCEBS), 3(3), 2320-4087.

Uçkesen, B, 2000. Tekirdağ koşullarında 1. ürün ve II. ürün olarak şeker mısır (*zea mays saccharatasturt.*) yetiştirme olanaklarının belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Turgut, İ. ve Balcı, A. (2002). Bursa koşullarında değişik ekim zamanlarının şeker mısırı (zea mays saccharata sturt.) çeşitlerinin taze koçan verimi ile verim öğeleri üzerine etkileri, Uludağ Üniversitesi TSE. Türk Standardı. TS 3036 ve 3036/T1. Bal. 2002/ Ocak 2010/ Eylül 2013Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(2), 79-91.

Yusuff, M.T.M.,Ahmed, O.M.,Yahaya,W.A.W. and Majid,N.M.A. (2007). Effect of organic and inorganic fertilizers on nitrogen and potassium uptake and yield of sweet corn grown on an acid soil, American Journal of Agricultural and Biological Science ,2(2), 118-122.

Betalainler: Potansiyel Sağlık Yararlarına Genel Bir Bakış

Bahtınur Taşcı
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Beslenme ve Diyetetik Bölümü, 55139, Samsun

Öz

Betalain açısından zengin ekstraktlar, nutrasötik potansiyelleri nedeniyle yıllardır kullanılmaktadır. Betalainler, betalamik asidin amonyum türevlerinden suda çözünebilme yeteneğine sahip azot içeren bitki pigmentleridir. Kimyasal yapıları ve kompozisyonları baz alınarak iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar; betasiyanin adı verilen kırmızı renkteki pigmentler ve betaksantin adı verilen sarı renkteki pigmentlerdir. Betanin ve indikaksantin sırasıyla betasiyanin ve betaksantinlerin en iyi karakteristiğidir. Betalainler, *Caryophylalles* familyasına ait olan bitkilerin çiçek ve meyve kısımlarında yüksek miktarda, vejetatif kısımlarında ise az miktarda bulunmaktadır. Diğer betalain kaynakları ise: kırmızı ve sarı pancar (*Beta vulgaris* L. spp. *vulgaris*) renkli Swiss chard meyvesi (*B. vulgaris* L. spp. *cicla*), dikenli incir (*Opuntia* sp.), yapraklı ve taneli amarant (*Amaranthus* sp.), ve pitaya (*Hylocereus* sp.) meyvesi olarak bilinmektedir. Betalainler, doğal gıda renklendiricilerinin iyi bir örneğidir. Renklendirme özelliğinin yanı sıra diyet betalainleri, birçok yararlı aktiviteleri nedeniyle insan sağlığının korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Betalainler yüksek antioksidan ve antiradikal özelliklere sahiptir. Ayrıca antiproliferatif, antienflamatuar, antilipidemik, antiobezite ve kardiyoprotektif, antibakteriyel, antiviral, antifungal ve antiprotozoal etkiler sergilerler. Çok sayıda deney, betalainlerin kanser hücre dizilerine karşı sitotoksisitesini ve antitümöral ajanlar olarak etkili kullanımını göstermiştir. Betalainlerin diyabetik komplikasyonların iyileştirilmesinin yanısıra hipoglisemik etkiye sahip olduğu *in vivo* çalışmalarla doğrulanmıştır. Tüm bu etkilerinin yanısıra Alzheimer ve Parkinson hastalığı gibi nörodejeneratif hastalıkların hücresel ve hayvan modelleri üzerindeki etkileri ile ilgili çalışmalar betalainin bu hastalıklar için umut verici bir bileşik olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada betalainlerin genel sağlık yararları gözden geçirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Betalain, Gıda renklendiricisi, Farmakolojik Etki

Betalains: An Overview Of Potential Health Benefits

Bahtınur Taşcı
Ondokuz Mayıs University, Faculty of Health Sciences, Department of Nutrition and Dietetics,55139, Samsun, Turkey

Abstract

Betalain-rich extracts have been used for years due to their nutraceutical potential. Betalains are water-soluble plant pigments from ammonium derivatives of betalamic acid and nitrogen. They are divided into two groups based on their chemical structures and compositions. The red pigments called betacyanin and yellow pigments called betaxanthin. Betanin is associated to betacyanins while indicaxanthin characterizes the most betaxanthins. The high amounts of betalains are found in the flower and fruit of the plants belonging to the *Caryophylalles* family, whereas the vegetative parts display small amounts of betalains. Betalains are also found in the red and yellow beet (*Beta vulgaris* L. spp. *vulgaris*), colored Swiss chard fruit (*B. vulgaris* L. spp. *cicla*), prickly fig (*Opuntia* sp.), leafy and granular amaranth (*Amaranthus* sp.) and pitaya (*Hylocereus* sp.). Betalains are a good source of natural food coloring agents. Besides its coloring feature, dietary betalains play an important role in the protection of human health due to their tremendous beneficial activities. Betalains have high antioxidant and antiradical properties. They also exhibit antiproliferative, antiinflammatory, antilipidemic, antiobesity and cardioprotective, antibacterial, antiviral, antifungal, and antiprotozoal effects. Numerous experiments have confirmed the cytotoxicity of betalains against cancer cell lines and their effective use as antitumoral agents. *In vivo* studies have shown that betalains have hypoglycemic effects and can mitigate diabetic complications. Moreover, studies on the effects on cellular and animal models of neurodegenerative diseases such as Alzheimer's and Parkinson's disease have shown that betalains are promising bioactive compounds for the prevention, mitigation or healing of these diseases. In the present study, the general health benefits of betalains were overviewed.

Keywords: Betalain, food colorant, pharmacological effect

1. Giriş

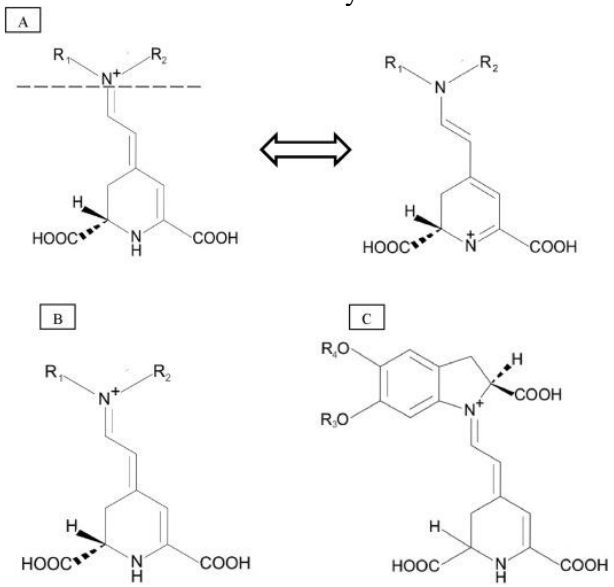
Son yıllarda farmasötik ve nutrasötik uygulamalarla birlikte yeni molekül arayışında önemli gelişmeler olmuştur. Bitki nutrasötikleri, beslenme ve sağlık üzerindeki olumlu etkileri sebebiyle büyük ilgi görmektedir. Betalain açısından zengin ekstraktlar, nutrasötik potansiyelleri nedeniyle uzun yıllardır kullanılmaktadır (Guerrero-Rubio vd., 2020).

Günümüzde betalain pigmentleri hem gıdaların besin içeriğini zenginleştirmek hem de renk değişikliğini önlemek amacıyla, dondurma, yoğurt, hazır kek, salata sosları, şekerleme, et ürünleri, krema, puding, jelatin kaynaklı tatlılar, toz içecek ve alkolsüz içeceklerde doğal gıda renklendiricisi olarak kullanılmaktadır (Rahimi, Abedimanesh, Mesbah-Namin, ve Ostadrahimi, 2019; Şimşek, 2019). Ayrıca, kozmetik ürünlerde ve farmasötiklerde de renklendirici olarak kullanılmaktadırlar (Montiel-Sánchez, García-Cayuela, Gómez-Maqueo, García, ve Cano, 2021). Renklendirme özelliğinin yanı sıra diyet betalainleri, terapötik potansiyele sahip olmaları nedeniyle insan sağlığının korunmasında ve hastalıkların önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (Hadipour, Taleghani, Tayarani-Najaran ve Tayarani-Najaran, 2020). Yapılan çalışmalarla, betalainlerin antiviral, antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu, antioksidan ve radikal süpürücü etkilerinden dolayı ise bazı oksidatif stresle ilişkili hastalıklara karşı korunmada, kardiyovasküler hastalıklar ve kanserin önlenmesinde rol oynayabileceği gösterilmiştir. Bununla birlikte raporlar, betalainlerin insan ve çevre için tehdit oluşturmadığını, lipid peroksidasyonu, enflamatuar durum, sitotoksisite, tümör hücrelerinin apopitozu, kan basıncı, endotel disfonksiyonu üzerinde faydalı etkileri olduğu aynı zamanda, glutamaterjik sinapslar üzerinde biyoelektrik aktivite ve bağırsak motilitesi üzerinde antispazmodik etki sağladığı görüşünü de desteklemektedir (Rahimi, Abedimanesh vd., 2019; Şimşek, 2019). Bu derlemede, betalainin genel özellikleri ve sağlık üzerine etkileri hakkında bilgi vermek amaçlanmıştır.

2. Betalainin Kaynakları, Kimyasal Yapısı ve Biyosentezi

Betalainler, suda çözünebilme özelliğine sahip azot içeren bitki pigmentleri olup, kimyasal yapılarına göre iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar; betasiyanin adı verilen kırmızı renkteki pigmentler ve betaksantin adı verilen sarı renkteki pigmentlerdir (Şekil 1). Betasiyaninler betalainlerin optikçe aktif formlardır. Betaksantinlerin ise yapılarında indol çekirdeği amino asitle yer değiştirmiştir. Kimyasal yapıları incelendiğinde, betasiyanin ve betaksantin gruplarının yapılarında ortak olarak betalamik asitin olduğu görülmektedir. Betaksantinde indol çekirdeğinin aminoasitle yer değiştirmesi ise bu grupların farklılaşmasına yol açmıştır. Betalainler, *Caryophylalles* familyasına ait olan bitkilerin meyve, çiçek ve vejetatif kısımlarında bulunmaktadır. Bunun dışında, kırmızı ve sarı pancar (*Beta vulgaris* L. spp. *vulgaris*), yapraklı ve taneli amarant (*Amaranthus* sp.) ve pitaya (*Hylocereus* sp.) meyvesi, renkli Swiss chard meyvesi (*B. vulgaris* L. spp. *cicla*) ve dikenli incir (*Opuntia* sp.) betalain kaynakları arasında yer almaktadır (Gengatharan, Dykes, ve Choo, 2015; Özcan ve Bilek, 2018; Özyurt, Saralı ve Ötleş, 2019). Ayrıca, *Gluconacetobacter diazotrophicus* gibi bazı bakteri türlerinde de varlığı gösterilmiştir (Sadowska-Bartosz ve Bartosz, 2021).

Doğada bulunan betalain kaynakları farklı betasiyanin ve betaksantin formlarını içerebilmektedir. Yaygın olarak görülen betasiyaninler; betanin ve isobetanin, betaksantinler ise; indiksantin, miraksantin ve vulgaksantindir. Bitkilerin renklerini içerdikleri baskın betasiyanin ve betaksantinler belirlemektedir. Bitkilerde bulunan baskın betasiyanin ve betaksantin formları Çizelge 1'de verilmiştir (Özcan, 2018).



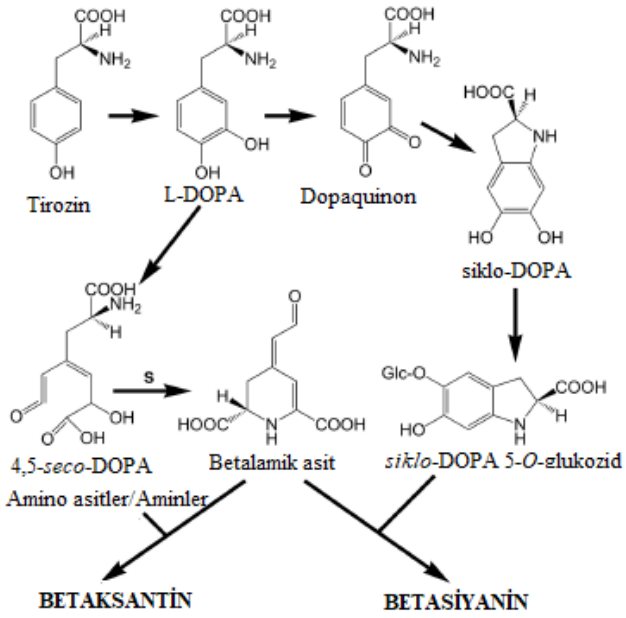
Şekil 1 . (A) Betalainin rezonans yapısı (B) Betasiyaninin temel yapısı (C) Betaksantinin temel yapısı (Gengatharan vd., 2015)

Çizelge 1. Bitkilerdeki baskın betalainler (Özcan, 2018)

Betalain kaynağı	Baskın betasiyanin	Baskın betaksantin
Kırmızı pancar (*Beta vulgaris* L.)	Betanin İzobetanin	Vulgaksantin I
Sarı pancar (*Beta vulgaris* L.)		Vulgaksantin I
Pazı (*B. Vulgaris* L. spp. *cicla*)	Betanin İzobetanin	Vulgaksantin I Miraksantin V
Sarı kaktüs meyvesi (*O. ficusindica* L. Mill.)	Betanin İzobetanin	İndiksantin

Kırmızı kaktüs meyvesi (*O.ficus-indica* L. Mill.)	Betanin İzobetanin	İndiksantin
Mor kaktüs meyvesi (*O.ficusindica* L. Mill.)	Betanin İzobetanin	İndiksantin
Rivina humulis L.	Betanin İzobetanin	Miraksantin V Dopaksantin Humiliksantin
Amaranthus sp.	Amarantin İzoamarantin	
Kırmızı-mor pitaya (*Hylocereus polrhizus*)	Betanin İzobetanin Filokaktin İzofilokaktin	

Betalain biyosentezi, tirozin amino asiti ile başlamakta, L-DOPA (L-3,4 dihidrokifenilalanin) oluşumundan sonra birbirinden bağımsız iki farklı yol izlemektedir (Şekil 2). Betalamik asit, tüm bitki betalainlerinin kromoforudur. İlk olarak, tirozin, tirozinaz enzimi ile L-DOPA'ya hidroksile edilmektedir. Bu enzim, tirozini hidroksile edip L-DOPA'ya dönüştürürken, L-DOPA'yı da okside edip dopaquinon'a dönüştürmektedir. Daha sonra dopaquinondan, siklo-DOPA oluşmakta ve 4,5-dioksijenaz ile katalize edilen, L-DOPA'nın 4,5-seco-DOPA'ya dönüştürülmesi gibi benzer reaksiyonlar da gerçekleşmektedir. Bu aşamadan sonra, betalamik asit ile siklo-DOPA'nın kondenzasyonu sonucunda betasiyanin, betalamik asidin farklı amino asitler veya aminlerle kondezasyonu sonucunda betaksantin formu meydana gelmektedir (Chung vd., 2015; Özyurt vd., 2019).



Şekil 2. Betalainin biyosentetik yolu (Özyurt vd., 2019)

3. Betalainlerin Sağlık Üzerine Etkileri

Diyetle alınan betalainler, çok sayıda faydalı aktivitelerinden dolayı insan sağlığının korunmasında önemli bir rol oynamaktadır. Bu bileşiklerin sağlık üzerindeki etkileri hakkında çok sayıda veri bulunmaktadır. Son zamanlarda, betalain açısından zengin gıdaların oksidatif stresin neden olduğu hasarı onarabildiği veya azalttığı ve ayrıca antioksidan aktiviteleri nedeniyle düşük yoğunluklu lipoprotein (LDL) oksidasyonunu önlediği kanıtlanmıştır. Betalainlerin biyolojik aktiviteleri, sağlık etkileri, biyoyararlanımı ve diyet güvenliği ile ilgili çalışmaların çoğu kırmızı pancar betalainleri üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmalar, betalainlerin genellikle güvenli olduğunu göstermiştir; sonuç olarak kırmızı pancar betanininin gıda renklendiricisi olarak kullanımı onaylanmıştır. Betanin içindeki fenolik ve siklik amin grupları, serbest radikalleri temizlemek için son derece yüksek kapasiteye sahip olan iyi elektron donörleridir (Montiel-Sánchez vd., 2021; Sadowska-Bartosz ve Bartosz, 2021; Tan, Wang, Bai, Yang, ve Han, 2015).

Antienflamatuar, antikanserojen ve anti-hepatit özelliklerinden dolayı betalainler farmasötik ajanlar ve diyet takviyeleri olarak faydalı kullanıma sahiptir. Betalainler ayrıca, antimikrobiyal ve antimalaryal etkiler sergilemektedir. Antimalaryal etkisine örnek olarak, betalain açısından zengin *Amaranthus spinosus'un* belirgin antimalaryal aktivite gösterdiği bildirilmiştir. Ayrıca, yapılan çalışmalar betalainlerin kilo kaybına veya karaciğer bozukluğuna neden olmadan glisemiyi %40 oranında azaltan antidiyabetik etkisini doğrulamıştır (Madadi vd., 2020).

3.1. Antioksidan Etki

Serbest radikaller ve ilgili moleküller, hücrelerin oksidatif durumunu değiştirme kabiliyetine sahip oldukları için reaktif oksijen türleri olarak sınıflandırılır. Reaktif oksijen türlerinin birikimi, oksidatif stres olarak adlandırılan normal redoks durumunda dengesizliğe yol açar. Antioksidanlar, kendiliğinden oksidasyonu geciktiren, bir veya daha fazla mekanizma ile serbest radikallerin oluşumunu engelleyen veya dağılımını durduran ve serbest radikalleri hücrelere saldırmadan önce devre dışı bırakan bileşikler veya sistemlerdir. Betalain içeren gıdalar reaktif oksijen türlerini temizleyebilir, antioksidan aktiviteler gösterebilir ve kemoprotektif etkilere sahiptir. Betalainlerin yapısındaki hidroksil ve amin grupları ne kadar fazla olursa, antioksidan özellikler o kadar iyi olur, çünkü betalainlerin yapısında katekol varlığı antioksidan kabiliyetini arttırır. Bunun aksine, betalainlerin glikozilasyonu antioksidan özelliklerini azaltır. Betaninin diğer betasiyaninlerle karşılaştırıldığında daha fazla antioksidan aktiviteye sahip olduğu görülmüştür. Doğal bir pigment olan betaninin toz veya ekstrakt formu, gıda endüstrisinde kullanılan bir antioksidandır. Betaninin biyolojik lipid ortamlarındaki antioksidan aktivitesi, membranlar, LDL ve tüm hücreler gibi insan makromoleküllerinde gösterilmiştir (Hadipour vd., 2020; Madadi vd., 2020). Bir hücre çalışmasında, betaninin doza bağımlı olarak DPPH-, galvinoksil-, süperoksit- ve hidroksil-radikallerini süpürdüğü, Nrf2 transkripsiyon faktörünü indüklediği ayrıca hem oksijenaz-1 protein seviyelerinde, paraoksonaz-1 transaktivasyonunda ve hücresel glutatyonda artış sağladığı belirlenmiştir. Dolayısıyla belirtilen bu çalışmada, betaninin hücre kültürlerinde hem bir serbest radikal temizleyicisi hem de bir antioksidan savunma mekanizması indükleyicisi olduğunu gösterilmiştir. Ayrıca betaninin, DNA'yı reaktif oksijen türlerine karşı koruduğu saptanmıştır (Esatbeyoglu vd., 2014).

3.2. Antienflamatuar Etki

Birçok çalışma betalainlerin antienflamatuar etkilerini ortaya koymuştur. *İn vitro* çalışmalardan elde edilen verilere göre, betalainlerin sitokinlerle tedavi edilen endotelyal hücrelerde, hücreler arası adezyon molekülü-1'i (ICAM-1) etkin bir şekilde baskıladığı belirlenmiştir. Ayrıca, betalainlerin lipoksijenaz ve siklooksijenaz enzimlerini inhibe ettiği saptanmıştır. Bu enzimlerin, proenflamatuar medyatörlerde araşidonik asidin dönüşümüne aracılık ettiği bilinmektedir. Bu doğrultuda, *in vivo* çalışmalar, bu etkilerin, betalainlerin farklı serin ve tirozin kalıntıları veya substrat bağlayıcı amino asitler ile etkileşimleri yoluyla meydana geldiğini ortaya koymuştur (Milton-Laskibar, Martínez ve Portillo, 2021).

Betalainin alerjik astıma karşı iyileştirici potansiyelinin incelendiği bir çalışma, bu bileşiklerin farelerin akciğer dokusunu ovalbümin kaynaklı alerjik astımdan koruduğunu doğrulamıştır (Dai, Wang ve Wang, 2021).

Doğal pigment betaninin insan hücrelerinde karaciğer fonksiyonlarını koruduğu, kültürlenmiş endotelyal hücrelerde enflamatuar yanıtın aracılık ettiği redoks sinyal yollarını düzenlediği ve insan tümör hücre dizileri üzerinde antiproliferatif etkiler gösterdiği bildirilmiştir (Madadi vd., 2020).

Betaninin parakuat ile tedavi edilen sıçanların böbreklerindeki oksidatif stres ve iltihaplanma üzerindeki etkilerinin araştırıldığı bir diğer çalışmaya göre ise, tedavi sonucunda betaninin parakuat kaynaklı akut böbrek hasarını azalttığı gözlenmiştir (Tan vd., 2015).

3.3. Antikanserojen Etki

Betalainler, serbest radikallerin temizlenmesine aktif olarak katılmakta ve sonuç olarak kanser ve kardiyovasküler hastalıkların başlamasını önleyebilmektedirler. Betalainlerin, endojen hücresel antioksidan savunma mekanizmalarını indükleyen bir anahtar transkripsiyon faktörünü (Nrf2) transaktive ettiği saptanmıştır. Huh7 hücrelerinin kırmızı pancardan elde edilen 15 μM betalainler ile takviyesi, hücre döngüsünün durmasını ve apopitozu indükleyen bir sitozolik antioksidan olan hücresel glutatyonda önemli bir artışa neden olmuştur (Gengatharan vd., 2015).

Besin kaynaklarından elde edilen betalain açısından zengin özler, hayvan modellerinde ve kanser hücre dizilerinde antitümöral potansiyel için araştırılmıştır. Orijinal besleyici betasiyanin olan betaninin, mide, meme, akciğer, kolon ve merkezi sinir sisteminin tümör hücrelerinin büyümesini önemli ölçüde inhibe ettiği, K562 insan miyeloid lösemi hücrelerinde apoptozu indüklediği; ve MCF-7 meme kanseri hücrelerinde zayıf bir şekilde epigenom tarafından düzenlenen gen ekspresyonu sergilediği bildirilmiştir (Madadi vd., 2020).

Küçük hücreli olmayan akciğer kanserinde betalainin terapötik kabiliyetini ve etki mekanizmalarının *in vivo* ve *in vitro* olarak değerlendirildiği bir çalışmada, deneysel sonuçlar, betalainin, normal insan hücrelerine karşı saptanamayan toksisite ile A549 hücrelerinin canlılığını doza bağımlı olarak azaltabildiğini göstermiştir (Yin, Yang, Guo, Veeraraghavan ve Wang, 2021).

3.4. Kardiyovasküler Hastalıklara Karşı Koruyucu Etki

Hipertansiyon, hiperkolesterolemi, obezite, diyabet gibi hastalıklar kardiyovasküler risk faktörleri olarak kabul edilmektedirler (Drummond, Selemidis, Griendling ve Sobey, 2011).

Ayrıca, kardiyovasküler hastalıkları geliştirmeye yönelik risk faktörleri, antioksidan savunma sisteminin detoksifikasyon kapasitesini azaltabilmekte ve aşırı reaktif oksijen ve nitrojen türlerinin üretimini teşvik edebilmektedir. Klinik deneyler ve epidemiyolojik kanıtlar, antioksidanlarla zenginleştirilmiş sebzelerin alımının oksidatif stres ve kardiyovasküler hastalıklar üzerindeki koruyucu etkisini göstermiştir. Betalain sınıfının bir fitokimyasalı olan betanin, lipit membranları ve LDL peroksidasyonlarını inhibe edebilen, enflamatuar sitokin salınımını azaltmak ve antioksidan enzim aktivitelerini artırmak için reaktif oksijen türlerinin üretimini ve gen ekspresyonunu modüle edebilen biyoaktif bir bileşik olarak tanımlanmaktadır. Bu nedenle bu bileşik, kardiyovasküler hastalıklara yol açan oksidatif stres ve enflamatuar olayların neden olduğu patofizyolojik etkilerin iyileştirmesinde destekleyici bir tedavi olarak kullanım potansiyeline sahiptir (Silva, Baião, Ferreira ve Paschoalin, 2020). Yapılan bir çalışma, betaninin, miyeloperoksidaz/nitrit kaynaklı oksidasyona maruz kalan insan LDL'sinde lipid hidroperoksitlerin üretimini engellediğini göstermektedir (Allegra, Tesoriere, ve Livrea, 2007).

Betalain açısından zengin gıda takviyelerinin bazı aterosklerotik risk faktörleri üzerindeki potansiyel etkilerinin değerlendirildiği bir çalışmada, 48 erkek hastaya yaklaşık 50 mg betalain/betasiyanin takviyesi verilmiştir. Çalışma sonucunda, her iki takviyenin de homosistein, glikoz, toplam kolesterol, trigliserit ve LDL konsantrasyonunu önemli ölçüde azalttığı saptanmıştır. Ayrıca, betalain açısından zengin takviyelerin hem sistolik hem de diyastolik kan basınçlarını düşürdüğü belirlenmiştir (Rahimi, Mesbah-Namin vd., 2019).

4. Sonuç

Antioksidan, antienflamatuar, antikanserojen ve anti-hepatit özelliklerinden dolayı betalainler farmasötik ajanlar ve diyet takviyeleri olarak faydalı etkilere sahiptir.

Kırmızı pancar, amarant ve kırmızı pitaya gibi betalain bakımından zengin gıdaların sahip oldukları farmakolojik özellikler, onlara fonksiyonel gıda olarak kullanım olanağı vermektedir.

Çok sayıda çalışma, betalainler ve betalain bakımından zengin diyetlerle yapılan tedavinin oksidatif stres, hipertansiyon, dislipidemi, ateroskleroz ayrıca diyabet ve obezite gibi hastalıkların tedavisi için umut verici bir alternatif olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Toksikolojik güvenliği, erişilebilirliği, düşük fiyatı, biyolojik olarak parçalanabilirliği ve sağlık üzerindeki olumlu biyolojik etkileri nedeniyle, betalainlerin gıda üretimine ve ilgili endüstrilere dahil edilmesi, yapay renklendiricilerin sağlık riskleri konusundaki kaygıların azaltılması yönünde bir gelişme sağlayabilir.

Özet olarak, doğal betalain pigmentleri yalnızca gıdalara, ilaçlara ve kozmetiklere doğal renk veya antioksidan özellikler eklemek için güvenli katkı maddeleri olarak hizmet etmekle kalmaz, aynı zamanda sağlığı geliştirmek ve çeşitli hastalıkları önlemek için terapötik bir potansiyele de sahiptir.

Kaynaklar

Allegra, M., Tesoriere, L., and Livrea, M. A. (2007). Betanin inhibits the myeloperoxidase/nitrite-induced oxidation of human low-density lipoproteins. *Free radical research, 41*(3), 335-341.

Chung, H.-H., Schwinn, K. E., Ngo, H. M., Lewis, D. H., Massey, B., Calcott, K. E., . . . Davies, K. M. (2015). Characterisation of betalain biosynthesis in Parakeelya flowers identifies the key biosynthetic gene DOD as belonging to an expanded LigB gene family that is conserved in betalain-producing species. *Frontiers in Plant Science, 6*, 499.

Dai, R., Wang, Y., and Wang, N. (2021). Betalain Alleviates Airway Inflammation in an Ovalbumin-Induced-Asthma Mouse Model via the TGF-β1/Smad Signaling Pathway. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology, 40*(2).

Drummond, G. R., Selemidis, S., Griendling, K. K., and Sobey, C. G. (2011). Combating oxidative stress in vascular disease: NADPH oxidases as therapeutic targets. *Nature reviews Drug discovery, 10*(6), 453-471.

Esatbeyoglu, T., Wagner, A. E., Motafakkerazad, R., Nakajima, Y., Matsugo, S., and Rimbach, G. (2014). Free radical scavenging and antioxidant activity of betanin: Electron spin resonance spectroscopy studies and studies in cultured cells. *Food and Chemical Toxicology, 73*, 119-126.

Gengatharan, A., Dykes, G. A., and Choo, W. S. (2015). Betalains: Natural plant pigments with potential application in functional foods. *LWT-Food Science and Technology, 64*(2), 645-649.

Guerrero-Rubio, M. A., Hernández-García, S., Escribano, J., Jiménez-Atiénzar, M., Cabanes, J., García-Carmona, F., and Gandía-Herrero, F. (2020). Betalain health-promoting effects after ingestion in Caenorhabditis elegans are mediated by DAF-16/FOXO and SKN-1/Nrf2 transcription factors. *Food Chemistry, 330*, 127228.

Hadipour, E., Taleghani, A., Tayarani-Najaran, N., and Tayarani-Najaran, Z. (2020). Biological effects of red beetroot and betalains: A review. *Phytotherapy Research, 34*(8), 1847-1867.

Madadi, E., Mazloum-Ravasan, S., Yu, J. S., Ha, J. W., Hamishehkar, H., and Kim, K. H. (2020). Therapeutic Application of Betalains: A Review. *Plants, 9*(9), 1219.

Milton-Laskibar, I., Martínez, J. A., and Portillo, M. P. (2021). Current Knowledge on Beetroot Bioactive Compounds: Role of Nitrate and Betalains in Health and Disease. *Foods, 10*(6), 1314.

Montiel-Sánchez, M., García-Cayuela, T., Gómez-Maqueo, A., García, H. S., and Cano, M. P. (2021). In vitro gastrointestinal stability, bioaccessibility and potential biological activities of betalains and phenolic compounds in cactus berry fruits (Myrtillocactus geometrizans). *Food Chemistry, 342*, 128087.

Özcan, K. (2018). *Kırmızı pancar betalainlerinin enkapsülasyonu.* Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Özcan, K., ve Bilek, S. E. (2018). Kırmızı Pancardan Renk Maddesi Üretimi ve Stabilitesinin Sağlanması. *Akademik Gıda, 16*(4), 439-449.

Özyurt, V. H., Sarali, H., ve Ötleş, S. (2019). Betalain ekstraktlarının gıdalarda kullanım olanakları. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25*(7), 864-870.

Rahimi, P., Abedimanesh, S., Mesbah-Namin, S. A., and Ostadrahimi, A. (2019). Betalains, the nature-inspired pigments, in health and diseases. *Critical reviews in food science and nutrition, 59*(18), 2949-2978.

Rahimi, P., Mesbah-Namin, S. A., Ostadrahimi, A., Abedimanesh, S., Separham, A., and Jafarabadi, M. A. (2019). Effects of betalains on atherogenic risk factors in patients with atherosclerotic cardiovascular disease. *Food and function, 10*(12), 8286-8297.

Sadowska-Bartosz, I., and Bartosz, G. (2021). Biological Properties and Applications of Betalains. *Molecules, 26*(9), 2520.

Silva, D. V. T. d., Baião, D. d. S., Ferreira, V. F., and Paschoalin, V. M. F. (2020). Betanin as a multipath oxidative stress and inflammation modulator: a beetroot pigment with protective effects on cardiovascular disease pathogenesis. *Critical reviews in food science and nutrition*, 1-16.

Şimşek, A. (2019). Kırmızı pancar (Beta vulgaris L.) Betalainleri üzerine termal destekli ultrasonik ekstraksiyonun etkisi. *Gıda, 44*(2), 318-327.

Tan, D., Wang, Y., Bai, B., Yang, X., and Han, J. (2015). Betanin attenuates oxidative stress and inflammatory reaction in kidney of paraquat-treated rat. *Food and Chemical Toxicology, 78*, 141-146.

Yin, Z., Yang, Y., Guo, T., Veeraraghavan, V. P., and Wang, X. (2021). Potential chemotherapeutic effect of betalain against human non-small cell lung cancer through PI3K/Akt/mTOR signaling pathway. *Environmental Toxicology, 36*(6), 1011-1020.

Geleneksel Bir Ürün Olan Samaksa Yapımında Hidrokolloid Kullanımı

Use of Hydrocolloids in Making Samaksa which is a Traditional Food

Işıl BARUTÇU MAZI*[1,a], Duygu ALTIOK[2,b], Gizem GEZGİN[1]

[1]*Ordu Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 52200, Ordu*

[2]*Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun*

Öz

Bu çalışmada, kokulu üzüm (*Vitis labrusca* L.) ve mısır ununun hazırlanan geleneksel bir tatlı olan samaksanın formülasyonunda bulunan mısır ununun, %0.25, 0.5 ve 1.0 oranlarında keçi boynuzu gamı, ksantan gam ve karragenan ile yer değiştirilerek kalite özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla örneklerin, kuru madde, pH, viskozite, renk (L*, a* ve b*), serum ayrılması, toplam fenolik madde (TFM), toplam monomerik antosiyanin (TMA) değerleri, tekstürel ve duyusal özellikleri incelenmiştir. Hidrokolloid içeren örneklerin a* değerleri kontrol ile benzer veya yüksek bulunmuştur. Örneklerin TFM değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir fark olmadığı gözlenmiştir ($p>0.05$). Hidrokolloid içeren örneklerin, kontrolden daha yüksek TMA içeriğine sahip olduğu tespit edilmiştir. Mısır ununun keçi boynuzu gamı ve karragenan ile yer değiştirmesi serum ayrılmasında 2.2-3.4 kat artışa neden olurken, ksantan gam (%0.5) %35.8 oranında azalma sağlamıştır. Artan hidrokolloid oranıyla sertlik, yapışkanlık ve sakızımsılık değerleri artarken, yapışıklık değerleri azalmıştır. %1 oranında karragenan içeren örneğin en yüksek sertlik, yapışkanlık ve sakızımsılık değerlerine sahip olduğu bulunmuştur. %0.5 ve %1.0 karragenan içeren örneklerin viskozitesi soğuma sırasında belirgin artış göstermiştir. Kontrol ile kıyaslandığında benzer serum ayrılması, renk, tekstür, TFM değerleri ve daha yüksek TMA değerine sahip, %0.5 oranında ksantan gam içeren örnek, hidrokolloid içeren diğer örneklere göre daha başarılı bulunmuştur. Ancak, duyusal değerlendirme sonuçlarına göre, %0.5 karragenan içeren samaksa örneği panelistler tarafından en çok tercih edilen örnek olmuştur.

Anahtar kelimeler: Hidrokolloid, Samaksa, Serum Ayrılması, Tekstür, *Vitis Labrusca* L.

Abstract

It is aimed in this study to improve the quality characteristics of samaksa, a traditional desert prepared with grape juice from foxy grape (*Vitis labrusca* L.) and corn flour, by replacing corn flour in its formulation with 0.25, 0.5 and 1.0% of locust bean gum, xanthan gum and carrageenan. Dry matter, pH, viscosity, color (L*, a*, b*), syneresis, total phenolic content (TPC), total monomeric anthocyanin (TMA) values, textural and sensorial properties of samples were examined for this purpose. The a* values of hydrocolloid containing samples were found to be similar to or higher than that of control. It was observed that there was no statistically significant difference between TPC values of samples ($p>0.05$). It was determined that hydrocolloid containing samples had higher TMA contents compared to control. Replacement of corn flour with locust bean gum and carrageenan resulted 2.2-3.4 fold increase in syneresis while xanthan gum (0.5%) provided 35.8% reduction. The hardness, adhesiveness and gumminess values increased while cohesiveness values decreased with increasing hydrocolloid level. The sample containing carrageenan at 1.0% level was found to have the highest hardness, adhesiveness and gumminess values. The viscosity of the samples containing 0.5 and 1.0% carrageenan exhibited a marked increase during cooling. Sample with 0.5% xanthan gum, which had similar syneresis, color, texture, TPC values and higher TMA value compared to the control, was found to be more successful than the samples with other hydrocolloids. The samaksa sample with 0.5% carrageenan was much preferred by the panelists according to the sensory evaluation results.

Keywords: Hydrocolloid, Samaksa, Syneresis, Texture, *Vitis Labrusca* L.

1. Giriş

Samaksa, Karadeniz yöresi insanları tarafından geleneksel olarak mısır unu ve üzüm suyundan üretilen, şeker içermeyen ve tüm yaş grupları tarafından sevilerek tüketilen muhallebi türü bir tatlıdır. Bu ürün yörede pepeçura, samas, üzüm kuymağı gibi farklı isimlerle de anılmaktadır. Samaksa yapımında *Vitis labrusca* L.

türüne ait üzümler kullanılmaktadır. Bu üzüm türünün farklı çeşitleri Doğu Karadeniz Bölgesi'nde doğal olarak yetişmekte, yörede kokulu üzüm, kokulu kara üzüm, İzabella, favli üzümü, çilek üzümü, siyah üzüm veya Amerikan üzümü olarak da adlandırılmaktadır (Çelik vd., 2008). Karadeniz Bölgesi gibi nemli bölgelerde yetişen *Vitis labrusca* L. türü üzümlerin, kabuk kısmında yüksek miktarda bulunan resveratrol maddesi sayesinde, mantari hastalıklara karşı dayanıklı olduğu bilinmektedir (Jeandet vd., 1991). Bu üzüm türünün taneleri iri ve kalın kabukludur ve kabuğu etli kısmından kolaylıkla ayrılabilmektedir. Tatlı tada sahiptir ve kendine has foxy (tilki kokusu) karakterde kokar (Cangi vd., 2006). Şarap yapımında kokusundan dolayı fazla tercih edilmez (Pedneault ve Provost, 2016). *V. labrusca* L. türü üzümler yörede taze olarak tüketilmesinin yanında jel, reçel, marmelat, sirke, pekmez, üzüm suyu yapımında da kullanılır. Pekmez, yıl boyunca nardek, samaksa yapılarak veya yoğurtla karıştırılarak tüketilir.

Üzüm fenolik bileşenler açısından oldukça zengin bir meyvedir (Skrovankova vd., 2015). Üzüm fenolik bileşenlerinin insan sağlığı ile ilgili birçok biyolojik aktivitesi saptanmıştır (Xia vd., 2010). Yapılan çalışmalar, üzüm ve üzüm ürünlerinin tüketiminin kardiyovasküler sağlığın yanında kanser, Alzheimer, nörodejeneratif hastalık, yaşa bağlı bilişsel gerileme, diyabet ile ilişkili risk faktörlerini olumlu yönde etkileyebileceğini ayrıca ağız sağlığı, bağışıklık fonksiyonu ve antiviral aktivite üzerinde yararlı etkileri olduğunu göstermiştir (Xia vd., 2010; Skrovankova vd., 2015). Üzüm meyvesinin pulp, çekirdek, kabuk kısımları farklı oranlarda fenolik madde içermektedir. Üzüm suyundaki fenolik bileşenlerin esas olarak kabuktan ekstrakte edilen fenolik maddelerden ve daha düşük oranda da çekirdekten elde edilenlerden oluştuğu rapor edilmiştir (Morris vd., 1996; Cosme vd., 2018). Kabuktaki fenolik madde miktarı üzüm çeşidi, toprak bileşimi, iklim, coğrafik köken, yetiştirme uygulamaları veya mantar enfeksiyonları gibi hastalıklara maruz kalma oranlarına göre değişiklik göstermektedir (Rombaldi vd., 2004). Bunun yanında üzüm suyu elde etmede uygulanan teknolojinin de üzüm suyundaki fenolik madde miktarını etkilediği rapor edilmiştir (El Darra vd., 2013). Kırmızı üzüm sularındaki temel fenolik bileşenleri antosiyaninler oluşturmaktadır (Cosme vd., 2018). Meyve suyu üretiminde parçalanmış ürünün ısıtılması, meyve suyunun renginden sorumlu antosiyaninlerin üzüm kabuğundan ekstraksiyonunu kolaylaştırmaktır (Cabrera vd., 2009).

Tüketici tercihleri besinsel özellikleri üstün olan gıdaların tüketilmesi yönünde artmaktadır. Bu nedenle gıda üreticileri duyusal özellikleri yanında besinsel özellikleri üstün olan ürünler geliştirmeyi hedeflemektedir. Bu açıdan üzüm içeren ürünler, fenolik bileşenler açısından zengin olması ve potansiyel sağlığa yararlı etkileri nedeniyle dikkat çekmektedir. Bu çalışmada samaksanın içeriğinde bulunan mısır unu oranının hidrokolloid kullanımıyla azaltılarak ürün kalitesinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Hidrokolloidler, Genellikle Güvenli Kabul Edilen (GRAS) gıda katkı maddeleri listesinde yer almaktadırlar (Dziezak, 1991). Özellikle yapı geliştirici yetenekleriyle dikkat çeken hidrokolloidler, gıda endüstrisinde, yaygın olarak kullanılan fonksiyonel bileşiklerdir. Birleştirme, bağlama, kıvam artırma, jel oluşturma, emülsiyon stabilitesi sağlama, kristalleşmeyi, faz ayrılmasını ve sineresisi engelleme, kapsülleme, kaplama, film oluşturma ve yapıyı düzeltme, hidrokolloidlerin kullanıldıkları ürünlerde sergiledikleri başlıca işlevler olarak sıralanmaktadır (Dziezak, 1991). Hidrokolloidlerden karragenanlar, aljinatlar, arabik gam, kitre zamkı, guar gam, keçiboynuzu gamı, pektin, hemiselüloz, ksantan gam, jellan, pullulan, karboksimetil selüloz, metil selüloz ve nişastalar gıdaların üretiminde geniş ölçüde kullanım alanına sahiptir.

Bu çalışmanın amacı yöresel bir gıda olan samaksanın bir takım fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi ve farklı hidrokolloidlerin ilavesi ile ürünün kalite özelliklerinin geliştirilmesidir. Bu amaç doğrultusunda üç farklı hidrokolloidin (karragenan (KAR), ksantan gam (KST) ve keçiboynuzu gamı (KB)) üç farklı oranda (%0.25, %0.5 ve %1.0) kullanımı ile hazırlanan ürünlerin toplam fenolik madde, toplam monomerik antosiyanin, pH, renk, tekstür, vizkosite, kuru madde, sineresis gibi bir takım fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiştir. Buna ek olarak elde edilen ürünlerde duyusal analizler de gerçekleştirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

Bu çalışmada Giresun ilinin Keşap ilçesinden temin edilen kokulu üzümler (*Vitis Labrusca* L.) kullanılmıştır. Sap, yaprak ve yeşil tanelerinden ayrılan üzümler yıkandıktan sonra 100°C'de paslanmaz çelik kazanlarda 1 saat kaynatılmıştır. Kaynatılan üzümler çelik pres makinasından geçirilmiştir. Posasından ayrılan

üzüm suyu 100°C'de paslanmaz kazanda 1 saat boyunca kaynatılarak cam şişelere alınmış ve etiketlenerek +4°C'de muhafaza edilmiştir. Analizler için kullanılan bütün kimyasallar analitik saflıktadır.

2.2. Samaksa Örneklerinin Hazırlanışı

Samaksa örneklerinin hazırlanmasında kullanılan malzemelerin miktarları Tablo 1'de verilmiştir. Oda sıcaklığındaki üzüm suyu içerisine mısır unu konulmuş, daha sonra 250°C'ye ayarlanmış olan ısıtıcı ocağın üzerine alınarak 70°C'ye kadar ısıtıldıktan sonra hidrokolloid ilave edilmiş ve homojen hale gelene kadar karıştırılmıştır. 30 dk boyunca belirli aralıklarla karıştırılarak pişirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Hidrokolloid ilaveli örneklerin mısır unu miktarı ön denemeler ile belirlenmiştir. Her hidrokolloid tipi için, kontrol örneğinde kullanılan mısır unu miktarı kademeli olarak azaltılarak ürünler elde edilmiş ve bu ürünlerin duyusal beğeni sonuçlarına göre hidrokolloid ilaveli örneklerin mısır unu miktarına karar verilmiştir.

Tablo 1. Samaksa yapımında kullanılan malzemeler ve kullanım miktarları

Örnek	Hidrokolloid	Hidrokolloid oranı %(a/h)	Mısır unu (g)	Üzüm suyu (mL)
Kontrol	-	-	10	100
KB 0.25	Keçiboynuzu (KB)	0.25	5.75	100
KB 0.50		0.50	5.50	
KB 1.00		1.00	5.00	
KST 0.25	Ksantan (KST)	0.25	5.75	100
KST 0.50		0.50	5.50	
KST 1.00		1.00	5.00	
KAR 0.25	Karragenan (KAR)	0.25	5.75	100
KAR 0.50		0.50	5.50	
KAR 1.00		1.00	5.00	

2.3. Kuru Madde (%), pH, Suda Çözünür Kuru Madde (SÇKM) Tayini

Samaksa örneklerinin toplam kuru madde miktarı gravimetrik olarak ölçülmüştür. Üzüm suyu örneklerinin suda çözünebilir kuru madde miktarı el refraktometresi (A. Krüss Optronic, Almanya) vasıtasıyla % olarak belirlenmiştir. Samaksa örneklerinin pH değerinin belirlenmesinde, önce 10 g örnek 30 mL distile su içinde homojenize edilmiş, daha sonra ince bir tülbent yardımıyla süzülmüştür**.** Elde edilen süzüntünün pH değeri, pH metre (Ohaus starter 3100, USA) ile ölçülmüştür. Üzüm suyu örneklerinde ise okuma örnek içerisine direk pH metre elektrodunun daldırılmasıyla gerçekleştirilmiştir (Cemeroğlu, 2007).

2.4. Serum Ayrılması

Samaksa örneklerinden falkon tüplerine 10 g tartım yapılmıştır. Tüpler santrifüj cihazında 4°C'de 6300 g'de 30 dk boyunca santrifüjlenmiştir. İşlem sonunda ayrılan su tartılmış ve örnekte bulunan toplam su miktarının yüzdesi olarak ifade edilmiştir (Verbeken vd., 2006).

2.5. Renk Analizi

Örneklerin L* (açıklık-koyuluk), +a* (kırmızılık-yeşillik), +b* (sarılık-mavilik) renk değerleri enstrümantal renk tayini cihazı (Minolta CR-400, Osaka, Japan) ile tespit edilmiştir. Okuma örnek yüzeyi üzerinden 5 farklı okumanın ortalaması olarak alınmıştır.

2.6. Toplam Monomerik Antosiyanin Tayini

Örneklerin toplam monomerik antosiyanin içeriği pH-diferansiyel yöntemine göre tespit edilmiştir (Giusti ve Wrolstad, 2001). Antosiyanin tayini için samaksa örneklerinden 10 g, üzüm suyu örneklerinden 10 mL alınmıştır ve % 60 lık pH:3.5 etanol ile 25 mL'ye kadar seyreltilmiştir. Bu seyreltik örneklerden iki ayrı behere 10 mL alınmıştır. Örneklerden birinin pH değeri seyreltik asitle (0.1 N HCl) pH 1'e, diğer örneğin pH değeri alkali çözeltisi ile (0.1 N NaOH) pH 4.5 'a ayarlanmıştır. Bu iki örnek ölçülü balonlara alınarak her biri kendi pH değerindeki tampon çözeltiyle seyreltilmiştir. Absorbans okumaları UV-VIS spektrofotometre (UV-mini 1240, SHIMADZU) kullanılarak, 400-600nm arasında örneklerin maksimum absorbans verdiği dalga boylarında ve bulanıklık unsurlarının tespit edilmesi için de 700nm dalga boyunda saf suya karşı yapılmıştır. Örneklerin toplam monomerik antosiyanin miktarı aşağıdaki eşitlik (denklem 1) yardımıyla hesaplanmış ve samaksa örnekleri için mg/100 g örnek birimine çevrilmiştir.

$$Toplam\ \ antosiyanin\ miktarı\ (mgL^{-1}) = (A\ x\ MW\ x\ DF\ x\ 1000)/(\varepsilon\ x\ L) \quad (1)$$

Burada;

A (Absorbans farkı) = $(A_{\lambda max} - A_{700nm})_{\text{pH 1.0}}$ - $(A_{\lambda max} - A_{700nm})_{\text{pH 4.5}}$

MW: Molekül ağırlığı (malvidin-3,5-diglukozid 'in molekül ağırlığı = 724.5 g/mol)

DF : Seyreltme faktörü

ε : Molar absorbans (malvidin-3,5-diglukozid için ε = 37 000 L/cm/mol)

L : Küvetin optik yolunu (1 cm) ifade etmektedir.

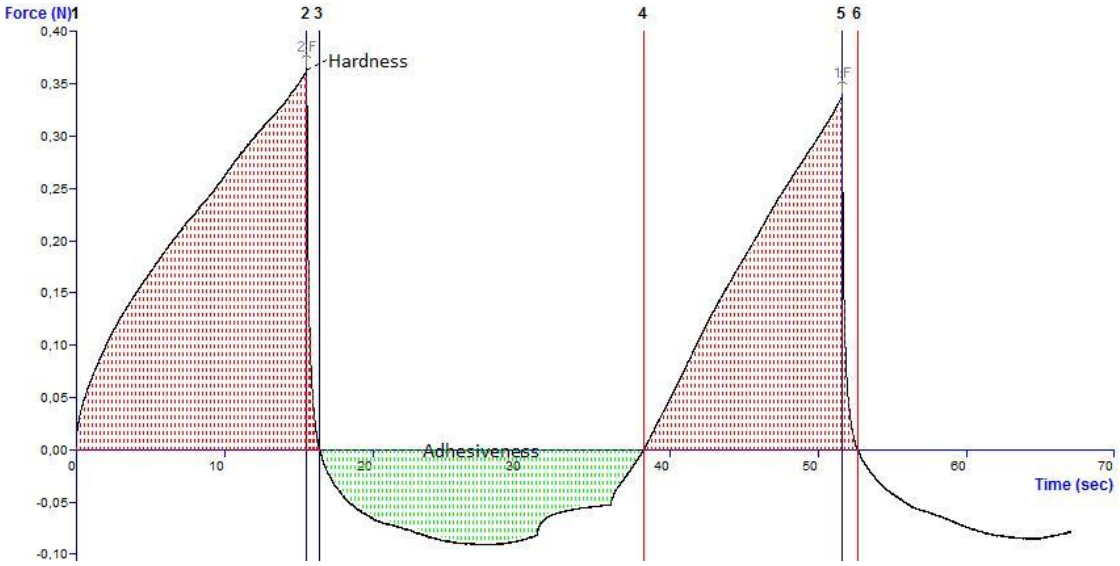
Örnekte bulunan antosiyanin miktarı o örnekteki başat antosiyanin cinsinden belirlenir. *Vitis Labrusca* L. türü üzüm için başat antosiyanin malvidin-3,5-diglikozit olarak belirlenmiştir (Burin vd., 2010; Toaldo vd., 2013).

2.7. Toplam Fenolik Madde (TFM) Tayini

Örneklerin TFM miktarları Folin-Ciocalteu kolorimetrik metodu kullanılarak Slinkard ve Singleton (1977) yöntemine göre belirlenmiştir. Örnekler (3 g) metanol (60 mL) içerisinde homojenize (WiseTis, HG-15 model) edildikten sonra 10000 xg'de 15 dk santrifüj (Isolab, 02012) edilmiş ve süpernatant ayrılarak metanol ile seyreltilmiştir. Seyreltilmiş süpernatant (0.06 mL), saf su (3.48 mL) ve 2 N Folin–Ciocalteu reaktifi (0.3 mL) karıştırıldıktan sonra karışımın üzerine 0.9 mL Na_2CO_3 çözeltisi (%20'lik) ilave edilmiş ve vortekslenmiştir. Elde edilen karışım 40°C de 30 dk inkübasyona bırakılmış ve daha sonra absorbans değerlerinin ölçümü UV-VIS spektrofotometre (UV-mini 1240, SHIMADZU) ile 760 nm dalga boyunda gerçekleştirilmiştir. Standart olarak metanol içinde çözünmüş gallik asit kullanılmış ve sonuçlar gallik asit cinsinden (g GA /100 g örnek) hesaplanmıştır.

2.8. Tekstür Analizi

Tekstür ölçümü için hazırlanan örnekler sıcak iken iç çapı 40 mm olan 50 mL 'lik beherler içerisine doldurulmuştur. Tekstür ölçümleri, örnekler yaklaşık 4 saat oda sıcaklığında soğutulduktan sonra, tekstür analiz cihazı (TA-XT.plus, Stable Micro System, England) ile 25 mm çaplı silindir alüminyum prob kullanılarak yapılmıştır. Testte TPA metot seçilerek, Test parametreleri; ön test hızı: 1.0 mm/s, test hızı:1.0 mm/s, test sonrası hız:10.0 mm/s, mesafe:10 mm, tetikleme tipi: otomatik-10 g olarak ayarlanmıştır. Her örnek için 5 tekrarın ortalaması alınmıştır. TPA analizi ile örneklerin sertlik, yapışkanlık, yapışıklık/bağlılık, esneklik ve sakızımsılık değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada TPA testi ile elde edilmiş olan örnek bir tekstür grafiği Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Samaksa örneğine ait tipik bir tekstür profil eğrisi

2.9. Viskozite Tayini

Hazırlanan samaksa örneklerinin viskozite ölçümlerinde sinüs dalgalı titreşimli viskozimetre (SV-10 Vibro Viscometer, A&D Company, Limited, Japan) kullanılmıştır. Ölçümler cihazın standart donanımında yer alan çift plakalı sensör ve ölçüm kapları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ölçüm örnek kabına konulan 40mL örneğin sıcaklığı 42°C den 24°C'ye soğutulurken gerçekleştirilmiştir.

2.10. Duyusal Analiz

Duyusal değerlendirme 20 panelist tarafından 5'li hedonik skala kullanılarak, pişirildikten sonra oda sıcaklığına soğumuş olan örneklerde gerçekleştirilmiştir. Samaksa örneklerinin renk, görünüş, koku, tat, aroma, görsel kıvam, ağızdaki kıvam, yapışkanlık ve genel beğeni açısından değerlendirmesi yapılmıştır.

2.11. İstatistiksel Analizler

Analizlerden elde edilen sonuçlar Minitab 17 istatistik paket programı kullanılarak istatistiki değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Tek yönlü ve iki yönlü varyans analiz tekniği ile (ANOVA) grup ortalamaları arasındaki farklar belirlenmiştir. Önemli bulunan ana varyasyon kaynaklarının ortalamaları Tukey Çoklu Karşılaştırma Testi'yle karşılaştırılmıştır ($p < 0.05$).

3. Bulgular ve Tartışma

Samaksa yapımında kullanılan üzüm suyuna ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 2'de verilmiştir. Samaksa yapımı için hazırlanan üzüm suyunun pH ve SÇKM değerleri literatür ile uyumlu bulunmuştur. Üzüm suyu içerdiği tartarik, malik ve sitrik asitler nedeni ile yüksek asitliğe sahiptir (Gurak vd., 2010). Tecchio vd. (2019), farklı sezon ve yetiştirilme koşullarında elde edilen *V. labrusca* türü üzüm şıralarının pH değerlerinin 2.86-3.38 değerleri arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Diğer bir çalışmada Burin vd. (2010), Bordo (*Vitis labrusca*) üzümlerinden elde edilen ev yapımı üzüm sularının Briks değerlerinin 10-21.5 aralığında olduğunu rapor etmişlerdir. Samaksa yapımı için hazırlanan üzüm suyunun TFM değeri 2165.4 mg $GA.L^{-1}$, TMA değeri de 101.6 $mg.L^{-1}$ olarak bulunmuştur. Kavgacı (2019), Trabzon-Giresun yöresine ait İzabella üzüm çeşitlerinin çekirdekleri çıkartıldıktan sonra kalan kabuk ve sulu kısmının TFM değerlerinin 2.51-4.79 mg GA/ g aralığında olduğunu rapor etmiştir.

Tablo 2. Samaksa yapımında kullanılan üzüm suyunun bazı fizikokimyasal özellikleri

Fizikokimyasal özellikler	Üzüm Suyu
pH	3.08 ±0.01
Suda çözünür kuru madde (SÇKM)	17.68±0.17
L*	16.45±0.73
a*	15.90±0.75
b*	2.86±0.17
Toplam fenolik madde (TFM) (mg GA.L^{-1})	2165.4±8.02
Toplam monomerik antosiyanin (TMA) (mg.L^{-1})	101.6±0.92

3.1. Kuru Madde

Farklı samaksa örneklerinin kuru madde, pH ve renk değerleri Tablo 3'te gösterilmektedir. Hidrokolloid ilave edilmiş örneklerin kuru madde değerleri %79.32 ile %86.12 arasında değişmektedir. Genel olarak hidrokolloid ilaveli örneklerin kuru madde değerleri kontrole (%88.22) kıyasla daha düşük olsa da istatistiksel açıdan bakıldığında, yalnızca KST 0.5, KAR 0.25 ve KAR 0.5 örneklerinin kuru madde değerleri ile kontrol örneğinin kuru madde değeri arasındaki fark önemli bulunmuştur. Bunun nedeni, kontrol örneğinin formülasyonundaki mısır unu miktarının hidrokolloid ilaveli örneklerinkinden fazla olmasıdır. KB 1.0 örneğinin kuru maddesi KAR 0.5 örneğinden önemli derecede yüksektir. Kullanılan hidrokolloidlerin su bağlama özelliklerinin birbirinden farklı olması, hidrokolloid tipine ve kullanım oranına bağlı olarak kuru madde oranları arasında farklılık gözlenmesi açısından beklenen bir durumdur (Wüstenberg, 2014). Bunun yanında hidrokolloidler ile nişasta arasındaki interaksiyonlar hidrokolloidlerin su tutma kapasiteleri üzerine etki etmiş olabilir (BeMiller, 2011, Toker vd., 2014).

Tablo 3 Samaksa örneklerinin kuru madde, pH ve renk değerleri

Örnek	Kuru madde % (y.b.)	pH	Renk parametreleri		
			L*	a*	b*
Kontrol	88.22^{a*} ±2.23	2.80^{b} ±0.01	17.97^{bc} ±0.10	3.17^{bc}±0.27	8.22^{ab}±0.17
KAR 0.25	81.37^{bc} ±2.58	2.86^{ab}±0.07	16.14^{c} ±0.43	4.82^{b} ±0.64	6.67^{bc}±0.21
KAR 0.50	79.32^{c} ±1.43	2.81^{b} ±0.04	17.76^{bc}±1.36	2.72^{c} ±0.27	4.31^{c} ±0.83
KAR 1.00	81.53^{abc}±0.44	2.86^{ab}±0.08	16.52^{c} ±0.46	4.56^{b} ±0.09	5.31^{cd}±0.27
KB 0.25	85.80^{abc}±2.03	2.95^{ab}±0.02	22.59^{a} ±1.29	6.61^{a} ±0.71	5.25^{cd}±2.13
KB 0.50	85.52^{abc}±1.06	2.96^{ab}±0.08	20.65^{a} ±0.42	3.86^{bc}±0.09	4.87^{cd}±0.71
KB 1.00	86.12^{ab} ±2.19	3.03^{a} ±0.03	22.39^{a} ±2.21	4.20^{bc}±0.44	4.63^{cd}±0.63
KST 0.25	85.19^{abc}±0.76	2.80^{b} ±0.01	16.93^{c} ±0.27	3.85^{bc}±0.34	8.20^{ab}±0.68

KST 0.50	80.05^{bc} ±0.50	2.87^{ab}±0.03	19.98^{ab}±0.67	4.32^{bc}±0.02	6.72^{bc}±0.73
KST 1.00	82.34^{abc}±1.95	2.85^{ab}±0.03	16.97^{bc}±0.62	4.62^{b} ±0.68	9.56^{a} ±0.18

*Aynı sütunda yer alan, farklı harflere sahip ortalamalar birbirinden önemli derecede farklıdır ($p < 0.05$)

3.2. pH

KB 1.0 örneği hariç hidrokolloid ilave edilmiş tüm örneklerin pH değerlerinin kontrol örneği ile benzer olduğu görülmektedir (Tablo 3). Bu çalışmadakine benzer şekilde, Toker ve ark. (2014), süt tozu, sükroz, mısır nişastası ve değişik gamlar kullanarak elde ettikleri pudinglerin pH değerlerini ölçmüşler ve karragenan içeren örnekler ile ksantan gum içeren örneklerin pH değerlerini benzer bulmuşlardır.

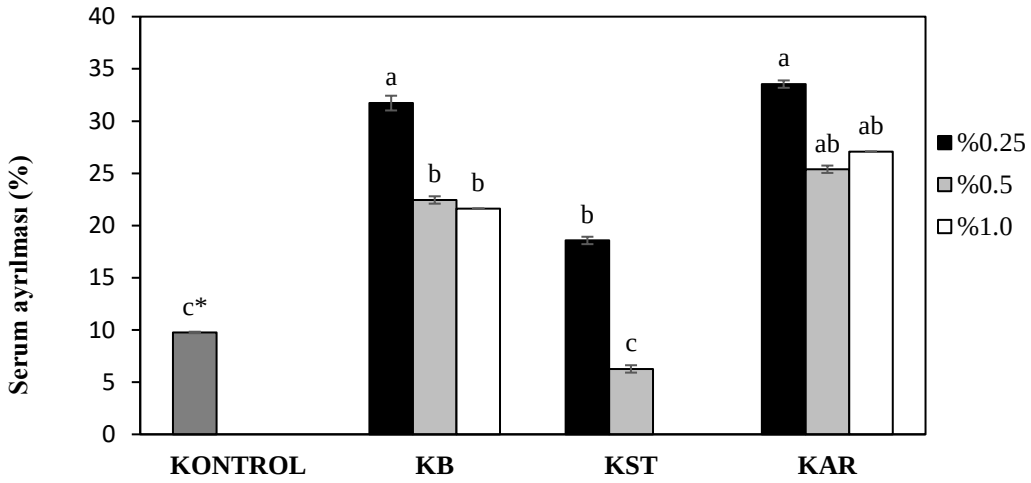
3.3. Renk

Üzüm suyunun L*, a* ve b* değerleri sırasıyla 16.45, 15.90 ve 2.86 olarak tespit edilmiştir. Samaksa örneklerinin L*, a* ve b* değerleri ise sırası ile 16.14-22.59, 2.72-6.61 ve 4.31-9.56 değerleri aralıklarında değişmektedir. KST ve KAR ilave edilmiş örnekler kontrol örneği ile benzer L* değerlerine sahiptir. KB içeren örneklerin L* değerleri ise kontrole ve diğer örneklere kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Hidrokolloid ilave edilmiş örneklerin a* değerleri kontrole kıyasla benzer veya daha yüksektir. Bunun hidrokolloid içeren örneklerin kontrole kıyasla daha yüksek oranda üzüm suyu içeriyor olmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Genel olarak bakıldığında hidrokolloid içeren örneklerin b*değerlerinin kontrole kıyasla benzer veya daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum kontrol örneğinin içerdiği mısır unu miktarının hidrokolloid içeren örneklere kıyasla daha yüksek olması ile ilişkili olabilir. Kontrol örneği, formülasyonunda 10g mısır unu/100 mL üzüm suyu içerirken hidrokolloid ilave edilmiş örnekler için bu değer 5-5.75 g mısır unu/100 mL üzüm suyu arasında değişmektedir.

3.4. Serum Ayrılması (%)

Samaksa örneklerinin serum ayrılması değerleri Şekil 2. 'de gösterilmektedir. KST 0.5 ve KST 1.0 dışında hidrokolloid içeren tüm örnekler kontrole kıyasla daha yüksek serum ayrılması değerlerine sahiptir. Benzer hidrokolloid oranlarında genel olarak KST içeren örneklerin serum ayrılması daha düşüktür. %1.0 oranında KST içeren örnekte serum ayrılması gözlemlenmemiştir. Arocas vd. (2009) mısır nişastası kullanarak hazırlamış oldukları beyaz sosun formülasyonuna keçiboynuzu gamı ve ksantan gam ilave edilmesinin, dondurma-çözme işlemi sonrası, sosun sineresis değerlerine etkilerini belirlemişler ve çalışmanın sonucunda ksantan gam ilavesi ile sineresisteki azalma oranının daha yüksek olduğunu bulmuşlardır. Ksantan gamın daha etkili olması, oluşan amiloz/KST gam interaksiyonları nedeni ile retrogradasyonun geciktirilmesi ve hatta önlenmesine bağlanmıştır. Ferrero vd. (1994), mısır nişastası ksantan gam interaksiyonlarını araştırdıkları çalışmalarında ksantan gam ilavesi ile nişasta jellerinde dondurma çözdürme döngüsü sonrası sineresisin azaldığını kaydetmişlerdir.

Genel olarak KAR içeren örneklerin serum ayrılması değerinin diğer örneklerden yüksek olduğu görülmektedir. Literatür incelendiğinde özellikle kappa karragenanın potasyum jellerinin yüksek sineresis özellik gösterdiği görülmektedir (Hotchkiss vd., 2016). *Vitis labrusca* L. üzüm türüne ait meyve sularında potasyumun (2792 $mg.L^{-1}$) en yüksek oranda bulunan mineral olduğu ve onu P, Ca, Mg 'un takip ettiği yapılan çalışmalarla gösterilmiştir (Miele vd., 2015). Ako (2015), kappa-karragenan hidrojellerinin belirli elastikiyet koşulları altında, kendiliğinden, sıcaklık, jelin içindeki tuz konsantrasyonu (KCl) ve polisakkarit konsantrasyonuna bağlı olarak sineresis özelliği gösterdiğini rapor etmiştir. Ayrıca sinereris özelliğinin jelin güçlü ve zayıf olmasına bağlı olarak değiştiğini, zayıf ve güçlü jellere kıyasla orta elastisiteye sahip jellerin daha fazla sineresis gösterdiğini rapor etmiştir. Artan KAR konsantrasyonunda sineresisin azalması jelin daha güçlü olması ile ilişkili olabilir.



Şekil 2. Samaksa örneklerinin serum ayrılması (%) değerleri
*Farklı harflere sahip ortalamalar birbirinden önemli derecede farklıdır ($p < 0.05$)

3.5. Toplam Fenolik Madde (TFM) ve Toplam Monomerik Antosiyanin (TMA)

Samaksa örneklerinin TFM ve TMA değerleri Tablo 4'te gösterilmektedir. Hidrokolloid içeren örneklerin TFM değerleri 82.55-90.93 mg GA/ 100 g örnek arasında değişmektedir. Örneklerin toplam fenol değerleri arasında istatistiksel olarak önemli bir farklılık yoktur. Yüzde olarak bakıldığında hidrokolloid ilave edilmiş örneklerin formülasyonundaki üzüm suyu miktarı kontrolden yüksektir. Bu durum hidrokolloid ilaveli örneklerin fenolik madde miktarlarının az da olsa kontrolden yüksek bulunmasının nedenlerinden biri olabilir.

Tablo 4 Samaksa örneklerinin toplam fenolik madde (TFM) ve toplam monomerik antosiyanin (TMA) değerleri

Örnek	TFM (mg/100 g örnek)**	TMA (mg/100 g örnek)**
Kontrol	$78.90^{a*} \pm 9.58$	$2.14^{i} \pm 0.01$
KAR 0.25	$82.55^{a} \pm 0.34$	$7.08^{a} \pm 0.01$
KAR 0.50	$87.57^{a} \pm 6.22$	$6.87^{b} \pm 0.02$
KAR 1.00	$84.58^{a} \pm 3.13$	$6.68^{c} \pm 0.06$
KB 0.25	$83.91^{a} \pm 0.00$	$6.13^{d} \pm 0.01$
KB 0.50	$86.90^{a} \pm 2.11$	$6.19^{e} \pm 0.01$
KB 1.00	$82.55^{a} \pm 2.07$	$6.13^{e} \pm 0.01$
KST 0.25	$84.60^{a} \pm 5.88$	$5.05^{f} \pm 0.01$
KST 0.50	$90.85^{a} \pm 6.34$	$4.62^{g} \pm 0.01$
KST 1.00	$90.93^{a} \pm 3.58$	$3.24^{h} \pm 0.01$

*Aynı sütunda yer alan, farklı harflere sahip ortalamalar birbirinden önemli derecede farklıdır ($p < 0.05$)
**TFM: Gallik asit eşdeğeri, TMA: malvidin-3,5-diglukozid eşdeğeri olarak ifade edilmiştir.

Örneklerin antosiyanin değerleri arasında önemli farklılıklar vardır. Hidrokolloid ilave edilmiş örneklerin antosiyanin değerleri kontrolden daha yüksektir. Bunun temel olarak, hidrokolloid ilave edilmiş örneklerin formülasyonundaki üzüm suyu miktarının yüzde olarak kontrolden yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca literatür incelendiğinde, hidrokolloidlerin antosiyaninlerin termal stabilitesini artırdığı yönünde çalışmalar olduğu görülmektedir (Das vd., 2020; Guan ve Zhong, 2015; Pichler vd., 2017). Das vd. (2020) siyah pirinç kepeğinden ekstrakte edilen antosiyaninlerin termal stabilitesi üzerine farklı hidrokolloidlerin (CMC, ksantan gam, arabik gam) etkisini araştırdıkları çalışmalarında, %0.5 (w/v) oranında hidrokolloid ilave edilen antosiyanin ekstraktı karışımını (pH 6) 90°C'de 30 dk ısıtmışlar ve hidrokolloid ilavesi ile antosiyanin stabilitesinin arttığını rapor etmişlerdir. Pichler vd. (2017) hidrokolloid (karaya gam, guar gam) ilave edilerek hazırlanan ahududulu krema dolgusunun, pastörizasyon işlemi sonrası ölçülen antosiyanin içeriğinin, hidrokolloid içermeyen örneklere göre daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. En yüksek antosiyanin değerleri KAR içeren örneklerde, en düşük antosiyanin değerleri ise KST içeren örneklerde gözlemlenmiştir. Genel olarak artan hidrokolloid oranı ile antosiyanin değerinin azaldığı görülmektedir. Yapılan bir çalışmada, bu çalışmadakine benzer şekilde, %0.2 oranında hidrokolloid ilave edilen çilek sularının pastörizasyon işlemi sonrası antosiyanin oranlarının, %0.3 oranında hidrokolloid içerenlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Teleszko vd., 2019). Bu durumun artan hidrokolloid konsantrasyonunun renkli bileşiklerin ekstraksyionunu kısıtlaması ile ilişkili olabileceği bildirilmiştir.

3.6. Tekstür

Normal mısır nişastası ağırlıkça yaklaşık %75 oranında amilopektin ve %25 oranında amilozdan oluşmaktadır. Sulu nişasta süspansiyonu ısıtıldığı zaman belli bir noktadan sonra granül şişmeye başlar. Jelatinizasyon sırasında amiloz molekülleri suda çözünerek granülün dışına geçer. Nişasta jeli soğutulduğunda retrogradasyona uğrar. Bu olayın, jelatinizasyon sırasında çözünür hale geçen amilozun tekrar düzenlenmesi ve jelatinize granüllerdeki amilopektinin tekrar kristallenmesi olmak üzere iki ayrı prosesten oluştuğu öne sürülmektedir (Atwell vd., 1988). Miles vd. (1985) nişasta jelinin sertliğinin temel olarak retrogradasyondan kaynaklandığını bildirmişlerdir. Sertlik, gıda maddesinin yapısında belirli bir deformasyonu sağlamak için uygulanması gereken kuvvet olarak tanımlanmaktadır. Farklı samaksa örneklerinin ilk gün elde edilen sertlik değerleri Tablo 5 'te gösterilmektedir. %0.25 ve %0.5 oranında KB ve KAR eklenen örneklerin sertlik değerleri kontrol örneğine kıyasla düşük bulunmuştur. KST 0.25 örneğinin sertlik değeri de benzer şekilde kontrolden düşüktür. Hidrokolloid içeren örneklerdeki mısır unu miktarı ve buna bağlı olarak da nişasta oranı kontrol örneğine kıyasla düşüktür. Azalan nişasta oranının sertlik değerini azaltıcı etki yaratması beklenen bir sonuçtur. Gaines vd. (2000) artan amiloz oranı ile daha sert jeller oluştuğunu bildirmişlerdir. Düşük oranlarda ilave edilen hidrokolloidin sertlik üzerine önemli bir etkisi gözlenmez iken, artan oranlarda kullanıldığında, örneklerin sertlik değerlerinin de artıyor olması nişasta ile ilave edilen hidrokolloidler arasındaki etkileşimlerin artan hidrokolloid konsantrasyonlarında önem kazandığını göstermektedir. %0.5 ve %1.0 oranlarında KST içeren örnekler benzer oranlarda KB içeren örneklere kıyasla daha yüksek sertlik değerlerine sahiptir.

Tablo 5. Samaksa örneklerinin tekstürel parametreleri

Örnek	Sertlik (N)	Yapışkanlık (g.s)	Yapışıklık/Bağlılık	Esneklik	Sakızımsılık (N)
Kontrol	0.47^{bc*} ±0.01	-2.24^{c} ±0.20	0.57^{d} ±0.02	0.93^{abc}±0.01	0.27^{c} ±0.00
KAR 0.25	0.19^{d} ±0.00	-0.33^{a} ±0.06	0.83^{a} ±0.02	0.94^{abc}±0.02	0.16^{de}±0.01
KAR 0.50	0.20^{d} ±0.01	-0.55^{a} ±0.04	0.75^{b} ±0.00	0.90^{bcd}±0.01	0.15^{e} ±0.00
KAR 1.00	1.04^{a} ±0.08	-5.90^{d} ±0.16	0.60^{cd}±0.00	0.98^{a} ±0.01	0.62^{a} ±0.05
KB 0.25	0.17^{d} ±0.00	-0.21^{a} ±0.09	0.89^{a} ±0.04	0.91^{bcd}±0.03	0.15^{e} ±0.01
KB 0.50	0.19^{d} ±0.00	-0.31^{a} ±0.03	0.84^{a} ±0.00	0.90^{cd} ±0.00	0.16^{de}±0.00

KB 1.00	0.35^{c} ±0.02	-1.54^{b} ±0.14	0.73^{b} ±0.00	0.87^{d} ±0.00	0.26^{c} ±0.02
KST 0.25	0.20^{d} ±0.00	-0.36^{a} ±0.02	0.74^{b} ±0.03	0.95^{ab} ±0.01	0.15^{e} ±0.01
KST 0.50	0.40^{c} ±0.06	-1.35^{b} ±0.20	0.58^{cd} ±0.01	0.94^{abc}±0.00	0.23^{cd}±0.03
KST 1.00	0.54^{b} ±0.02	-2.67^{c} ±0.08	0.64^{c} ±0.00	0.93^{abc}±0.00	0.35^{b} ±0.02

*Aynı sütunda yer alan, farklı harflere sahip ortalamalar birbirinden önemli derecede farklıdır ($p < 0.05$)

Kappa karragenan diğer gamlardan farklı olarak jel yapma özelliğine sahiptir. Tecante ve Doublier (2002), amiloz-k-karragenan karışımlarının, karragenanın konsantrasyonuna ve ortamda KCl bulunup bulunmamasına göre farklı reolojik davranışlar sergilediğini bildirmiştir. %0.3'ün altında KCl varlığında amilozun sürekli fazı, karragenanın ise dağınık fazı oluşturduğu, %0.5'in üzerindeki konsantrasyonlarda ise tersinin gözlendiğini ve karragenanın karışımın reolojik özelliklerini belirlemede daha baskın olduğunu, oluşan jellerin sertliğinde ise belirgin derecede artış olduğunu rapor etmiştir. Lin ve ark. (2016), farklı oranlarda (%0.2, 0.6 ve 1.0) kappa karragenan ile 90°C'de 30 dk ısıtma ile jeller oluşturmuşlar ve artan gam konsantrasyonu ile jelin sıkılık (firmness) değerinin arttığını rapor etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada %0.2 oranında kappa karragenan jel oluşumu göstermezken, %0.6 oranında karragenan içeren jelin sıkılık değeri 953 mN, %1.0 oranında gam içeren jelin sıkılığı ise 1882 mN olarak tespit edilmiştir. Bu çalışmada da benzer şekilde karragenanın konsantrasyonunun %0.5'den %1.0'e çıkması ile elde edilen samaksa örneğinin sertlik değerinde önemli derecede artış olmuştur. Lin ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada ayrıca, genel olarak karragenan dispersiyonlarına mısır nişastası eklenmesinin karargenan jellerinin sıkılığını artırdığı bildirilmiştir.

Yapışkanlık (adhesiveness), gıda yüzeyi ile baskı plakası arasındaki çekim kuvvetini aşmak için gerekli olan iş olarak tanımlanmaktadır. Yalnızca KAR 1.0 örneğinin yapışkanlık değeri kontrole kıyasla önemli derecede yüksektir. KST 1.0 kontrol ile benzer yapışkanlık değeri sağlarken diğer tüm örneklerin yapışkanlık değerleri kontrolden düşük bulunmuştur. Yapışıklık/bağlılık (cohesiveness) gıda maddesinin yapısını oluşturan iç bağların gücünü göstermektedir ve uygulama tipine göre pozitif veya negatif etki gösterebilir. Kontrol ile kıyaslandığında hidrokolloid ilave edilmiş tüm örneklerin yapışıklık/bağlılık değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak KST 0.50 ve KAR 1.0 örneği için bu fark istatistiksel olarak anlamsız bulunmuştur. Genel olarak artan hidrokolloid oranı ile örneklerin yapışkanlık değerlerinde artış, yapışıklık/bağlılık değerlerinde ise azalma olduğu görülmektedir.

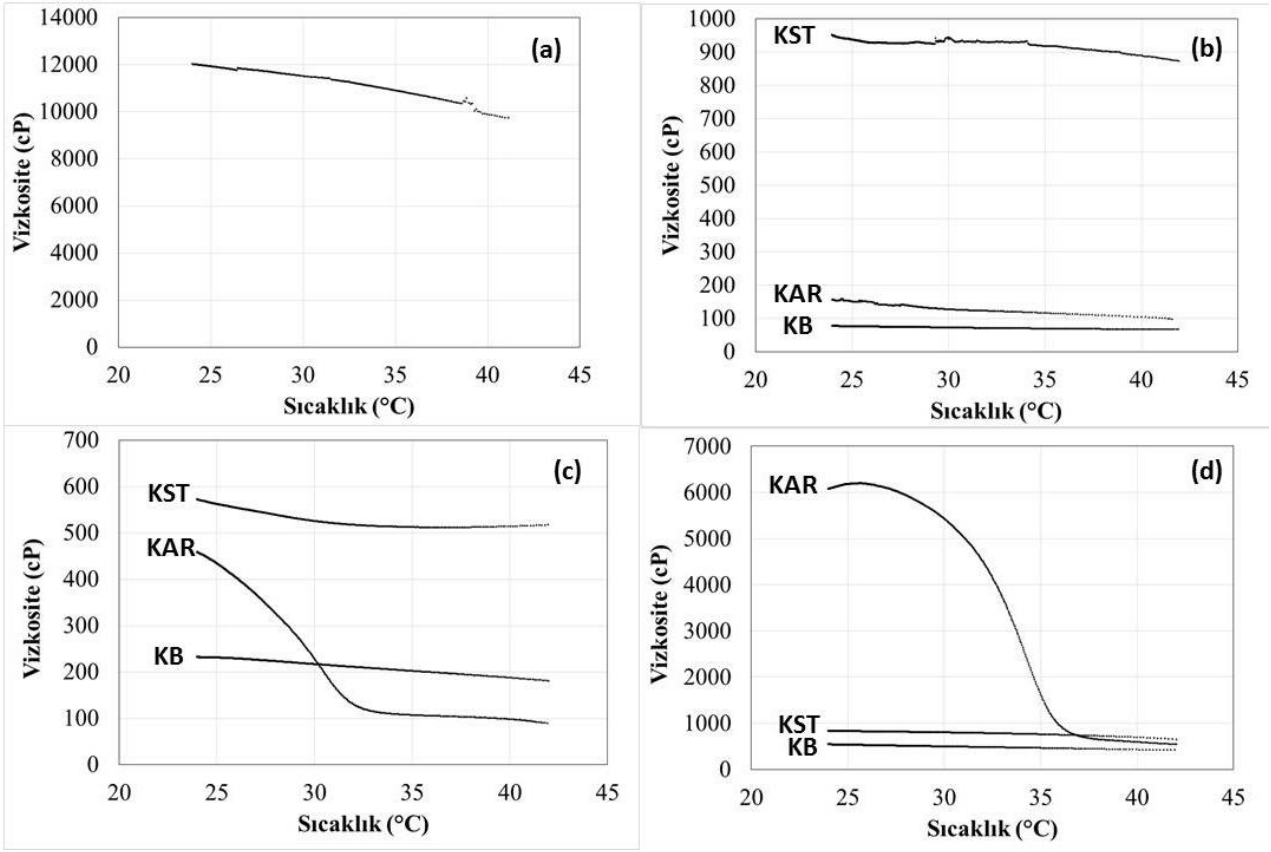
Esneklik (springiness), sıkıştırılmış gıda üzerinden yük kaldırıldığında, gıdanın kendini toparlayarak deformasyondan önceki haline dönebilme derecesini ifade etmektedir. KB 1.0 örneği dışında tüm örnekler kontrol ile benzer esneklik değerlerine sahiptir. %0.25 ve %0.5 oranlarında, hidrokolloid tipinin esneklik üzerine önemli etkisi yoktur. Ancak %1.0 oranında, KB içeren örneğin esneklik değeri KAR ve KST içeren örneklerden önemli derecede düşük bulunmuştur. Eidam vd. (1995) mısır nişastası (%7) içeren jellerin içerdiği nişastanın %0.35'ini farklı hidrokolloidler (CMC, keçiboynuzu gamı, guar gam, iota karragenan) ile yer değiştirmişler ve hidrokolloid ilavesinin jellerin viskoelastik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. İyonik olmayan galaktomannan tipi polisakkaritlerden oluşan keçiboynuzu gamı ve guar gam ilavesi ile nişasta jellerinin viskoz özelliklerinin arttığını ve elastik özelliklerinin azaldığını rapor etmişlerdir. Iota karragenan ise tersine nişasta jelinin elastik özelliğini artırıcı etki göstermiştir. Jel yapıdaki eklem bölgelerinin (junction zones) elastik yapıdan sorumlu olduğunu ve galaktomannan varlığında eklem bölgelerinin sayısının azalmasının bunun nedeni olabileceğini açıklamışlardır. Karragenanın ise amiloz molekülleri ile spesifik moleküller arası etkileşimler sergilediği ve böylece ağ yapısının oluşmasına katkıda bulunduğu belirtilmiştir.

Sakızımsılık (gumminess) bir gıda maddesinin yutmaya hazır hale gelene kadar parçalanması için gerekli enerjiyi ifade etmektedir. %0.25 oranında hidrokolloid içeren örneklerin sakızımsılık değerleri kontrolden düşüktür. KB ve KAR içeren örnekler için hidrokolloid oranının %0.5 'e çıkarılması sakızımsılık değeri üzerinde önemli bir fark yaratmazken, KST içeren örnek için artışa neden olmuştur. %1.0 oranında ise tüm örneklerin sakızımsılık değerleri önemli derecede artmıştır. Artış oranı KAR içeren örnekte diğerlerine kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Tüm örnekler içerisinde en yüksek sakızımsılık değerini % 1.0 oranında KAR içeren örnek vermiştir. Yapılan bir çalışmada, k-karragenanın az yağlı emülsifiye köftelerde (Hsu ve Chung, 2001) sakızımsılığı artırdığı rapor edilmiştir.

3.7. Viskozite

Üzüm suyunun viskozite değeri 0.014 cp olarak bulunmuştur. Samaksa örneklerinin hazırlandıktan sonra soğuması sırasında elde edilen viskozite değerleri Şekil 3'te verilmektedir. Nişasta şişmesinin ve düz zincir molekülün granüller arasındaki sulu ortama geçmesinin sonucu olarak granüller arasındaki sulu ortamın su miktarı azalır ve viskozite artar. Hidrokolloid içeren örneklere kıyasla daha yüksek oranda nişasta içeren kontrol örneği, hidrokolloid ilave edilmiş örneklere kıyasla daha yüksek viskozite değerlerine sahip bulunmuştur.

Düşük konsantrasyonlarda (%0.25 ve %0.5), KST ilave edilmiş örneklerin viskozite değerleri diğerlerine kıyasla daha yüksektir. Ksantan gamın düşük konsantrasyonlarda bile oldukça yüksek viskoziteler oluşturabileceği bilinmektedir. Tüm örneklerin viskozite değerleri azalan sıcaklık ile artmaktadır. Özellikle yüksek oranlarda KAR içeren örneklerde belirli bir sıcaklığın altında bu artış hızının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. %1 KAR içeren örneğin viskozitesi 36°C civarında önemli derecede artış göstermiş ve oda sıcaklığında %1 KST içeren örneğin viskozitesinden yüksek bir değere ulaşmıştır. Bu sonuca benzer şekilde, Gladkowska-Balewicz vd., (2014), kappa karragenan (%0.5 w/w) solüsyonunun soğutulması sırasında viskozite değerinin yaklaşık 30°C civarında, jel oluşumu nedeni ile, önemli derecede artış gösterdiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca yine aynı çalışmada solüsyona prejelatinize nişasta ilave edildiğinde viskozitedeki artışın çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3. Kontrol (a) ve %0.25 (b), %0.5 (c) ve %1.0(d) oranlarında hidrokolloid içeren samaksa örneklerinin soğuması süresinde viskozite değişimi.

3.8. Duyusal Analiz

Duyusal değerlendirmede en çok beğenilen renk % 0.5 oranında KAR içeren örneğe aittir (Tablo 6). Genel olarak KST içeren örneklerin renk açısından beğenisi kontrole kıyasla düşük bulunmuştur. % 0.25 oranında KST ve KB içeren örneklerin kokusunun diğer örneklere kıyasla daha çok beğenildiği ve artan KST, KB konsantrasyonu ile beğeninin azaldığı görülmektedir. Ancak KAR içeren örnekler için benzer bir durumdan

bahsetmek mümkün değildir. Kıvam açısından en yüksek puanı kontrol örneği almıştır. %1 oranında KST ve KAR içeren örnekler 3'ün altında puan alarak kıvamı en az beğenilen örnekler olmuştur. KST 1.0 örneği dışındaki tüm örnekler 3'ün üzerinde tad-aroma puanı almıştır. KST ve KAR oranının artırılması tat-aroma beğenisini azaltmıştır. Gaspar vd. (1998), üzüm suyu, sükroz ve değişik gamların (jellan, ksantan, keçiboynuzu) bir arada farklı oranlarda ilavesi ile hazırlamış oldukları ürünlerde duyusal analiz gerçekleştirmişler ve artan gam oranı ile tatlılık değerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Bunun nedeni olarak da jel yapının şeker ve aroma moleküllerini tutmasını göstermişlerdir. Genel olarak KST içeren örnekler 3'ün altında puan alarak genel kabul edilebilirliği en düşük seçilen örnekler olmuştur.

Tablo 6. Samaksa örneklerinin duyusal değerlendirmelerine ilişkin sonuçlar

Örnek	Renk	Koku	Kıvam (ağız)	Kıvam(kaşık)	Tad/Aroma	Genel beğeni
Kontrol	3.8±0.68	4.1±0.90	4.5±0.21	4.5±0.30	4.3±0.10	3.6±0.92
KAR 0.25	4.0±0.70	3.7±0.75	3.6±0.35	3.2±0.66	4.1±1.20	3.0±0.68
KAR 0.50	4.7±0.32	3.6±0.82	3.5±0.71	3.5±0.80	3.5±0.94	4.4±1.05
KAR 1.00	4.2±0.80	4.1±0.35	2.7±0.46	2.0±0.85	3.0±0.78	4.3±0.76
KB 0.25	3.9±0.35	4.4±0.49	3.8±0.82	3.7±0.95	3.9±0.70	3.9±0.98
KB 0.50	4.3±0.80	4.2±0.28	3.6±0.35	4.1±0.60	3.7±0.25	3.9±0.21
KB 1.00	3.8±0.48	3.6±0.54	3.8±0.40	3.1±.0.21	4.0±0.90	3.4±0.70
KST 0.25	3.2±0.39	4.4±0.55	3.9±0.45	3.3±0.16	3.9±0.35	2.6±0.16
KST 0.50	3.2±0.50	4.1±0.74	3.1±0.60	3.8±0.12	3.2±0.12	2.4±0.25
KST 1.00	2.0±0.62	3.8±0.34	2.4±0.81	2.1±0.40	2.4±0.37	1.5±0.31

1: hiç beğenmedim; 5: çok beğendim

4. Sonuçlar

Keçi boynuzu gamı (KB), ksantan gam (KST) ve karragenanın (KAR) farklı oranlarda (%0.25, 0.5 ve 1.0) kullanımı ile mısır unu miktarı azaltılmış olan samaksa örneklerinin toplam monomerik antosiyanin değerleri önemli derecede artmıştır. Hidrokolloid içeren örneklerin a* değerleri kontrole kıyasla benzer veya yüksek, b* değerleri ise benzer veya daha düşük bulunmuştur. %0.25 oranında hidrokolloid içeren tüm örneklerin sertlik değerlerinin kontrolden düşük, serum ayrılması değerlerinin ise yüksek olduğu tespit edilmiştir. % 0.5 hidrokolloid içeren örneklere bakıldığında, KST içeren örneğin kontrol ile benzer sertlik ve serum ayrılması değerlerine, KB ve KAR içeren örneklerden ise daha yüksek sertlik ve daha düşük serum ayrılması değerlerine sahip olduğu görülmüştür. %1 oranında KAR içeren örneğin, tüm örneklerden daha yüksek sertlik, yapışkanlık ve sakızımsılık değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Tüm örneklerin viskozite değerleri azalan sıcaklıkla artış göstermiş, en hızlı artış oranı %0.5 ve 1.0 oranlarında KAR içeren örneklerde tespit edilmiştir. %0.5 ve 1.0 oranlarında KAR içeren örnekler duyusal değerlendirme sonucunda en yüksek genel beğeniye sahip bulunmuştur.

Teşekkür

Bu çalışma Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimi (Proje No: B1818) tarafından desteklenmiştir.

Kaynaklar

Ako, K. (2015). Influence of elasticity on the syneresis properties of κ-carrageenan gels. *Carbohydrate Polymers*, 115, 408-414.

Arocas, A., Sanz, T. and Fisman, S. M. (2009). Improving effect of xanthan and locust bean gums on the freeze-thaw stability of white sauces made with different native starches. *Food Hydrocolloids*, 23, 2478-2484.

Atwell, W. A., Hood, L. F., Lineback, D. R., Varriano Marston, E. and Zobel, H. F. (1988). The terminology and methodology associated with basic starch phenomenon. *Cereal Food World*, 33, 306-311.

Bautista-Ortín, A. B., Fernández-Fernández, J. I., López-Roca, J. M. and Gómez-Plaza, M. (2007). The effects of enological practices in anthocyanins, phenolic compounds and wine colour and their dependence on grape characteristics. *Journal of Food Composition and Analysis*, 20, 546-552.

BeMiller, J. N. (2011). Pasting, paste, and gel properties of starch–hydrocolloid combinations. *Carbohydrate Polymers*, 86, 386-423.

Burin, V. M., Falcao, L. D., Gonzaga, L.V., Fett, R., Rosier, J. P. and Bordignon-Luiz, M. T. (2010). Colour, phenolic content and antioxidant activity of grape juice. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30(4), 1027–1032.

Cabrera, S. G., Jang, J. I. H., Kim, S. T., Lee, Y. R., Lee, H. J., Chung, H. S. and Moon, K.D. (2009). Effects of processing time and temperature on the quality components of Campbell grape juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 33, 347–360.

Cangi, R., Çelik, H. and Köse, B. (2006). Determination of ampelographic characters of some natural foxy grape (*Vitis labrusca* L.) types grown in northern Turkey (Ordu and Giresun province). *International Journal of Botany*, 2(2), 171-176.

Cemeroğlu, B. (2007). *Gıda Analizleri.* Ankara: Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları.

Cosme, F., Pinto, T. and Vilela, A. (2018). Phenolic compounds and antioxidant activity in grape juices: A chemical and sensory view. *Beverages*, 4, 22.

Celik, H., Kose, B. and Cangi, R. (2008). Determination of Fox grape genotypes (*Vitis labrusca* L.) grown in Northeastern Anatolia. *Horticultural Science*, 35(4), 162-170.

Das, A. B., Goud, V. V. and Das, C. (2020). Degradation kinetics of anthocyanins from purple rice bran and effect of hydrocolloids on its stability. *Journal of Food Process Engineering*, e13360.

Dopico-Garcia, M. S., Fique, A., Guerra, L., Afonso, J. M., Pereira, O., Valentao, P., … Seabra, R. M. (2008). Principal components of phenolics to characterize red Vinho Verde grapes: anthocyanins or non-coloured compounds? *Talanta*, 75, 1190-1202.

Downey, M. O., Krstic, M. K. and Dokoozlian, N. K. (2006). Cultural practice and environment impacts on the flavonoid composition of grapes and wine-A review of recent research. *American Journal of Enology and Viticulture*, 57, 257–268.

Dziezak, J. D. (1991). A focus on gums. *Food Technology*, 45 (3), 116-132.

El Darra, N. E., Grimi, N., Maroun, R. G., Louka, N. and Vorobiev, E. (2013). Pulsed electric field, ultrasound, and thermal pretreatments for better phenolic extraction during red fermentation. *European Food Research and Technology*, 236, 47–56.

Eidam, D., Kulicke, W. M., Kuhn, K. and Stute, R. (1995). Formation of maize starch gels selectively regulated by the addition of hydrocolloid. *Starch/Staerke*, 47 (10), 378-384.

Ferrero, C., Martino, M. N. and Zaritzky, N. E. (1994). Corn starch–xanthan gum interaction and its effect on the stability during storage of frozen gelatinized suspensions. *Starch/Starke*, 46, 300-8.

Gaines, C. S., Raeker, M. O., Tilley, M. et al. (2000). Associations of starch gel hardness, granule size, waxy allelic expression, thermal pasting, milling quality, and kernel texture of 12 soft wheat cultivars. *Cereal Chemistry*, 77, 163–168.

Gaspar, C., Laureano, O. and Sousa, I. (1998). Production of reduced-calorie grape juice jelly with gellan, xanthan and locust bean gums: Sensory and objective analysis of texture. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und Forschung*, 206(3),169-174.

Giusti, M. M. and Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-Visible spectroscopy. R. E. Wrolstad, T. E. Acree, H. An, E. A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, P. Sporns (Ed.), *Current Protocols in Food Analytical Chemistry* (p. F1.2.1-F1.2.13). New York; John Wiley & Sons, Inc.

Gladkowska-Balewicz, I., Norton, I. T. and Hamilton, I. E. (2014). Effect of process conditions, and component concentrations on the viscosity of κ-carrageenan and pregelatinised cross-linked waxy maize starch mixed fluid gels. *Food Hydrocolloids*, 42, 355-361.

Guan, Y. and Zhong, Q. (2015). The improved thermal stability of anthocyanins at pH 5.0 by gum Arabic. *LWT-Food Science and Technology*, 64, 716-712.

Gurak, P. D., Cabral, L. M. C., Rocha-Leão, M. H. M., Matta, V. M. and Freitas, S. P. (2010). Quality evaluation of grape juice concentrated by reverse osmosis. *Journal of Food Engineering*, 96, 421-426.

Hotchkiss, S., Brooks, M., Campbell, R., Philip, K. and Trius, A. (2016). The use of carrageenan in food. L. Pereira (Ed.), *Carrageenans: Sources and Extraction Methods, Molecular Structure, Bioactive Properties and Health Effects* (p. 229-243). New York; Nova Science Publications Inc.

Hsu, S. Y. and Chung, H. Y. (2001). Effects of κ-carrageenan, salt, phosphates and fat on qualities of low fat emulsified meatball. *Journal of Food Engineering*, 47, 115-121.

Jeandet, P., Bessis, R. and Gaugheron, B. (1991). The production of resveratrol (3,5,4'-trihydroxystilbene) by grape berries in different developmental stages. *American Journal of Enology and Viticulture*, 42, 41-46.

Kavgacı, M. (2019). *İzabella üzümünün (Vitis labrusca L.) resveratrol ve fenolik kompozisyonu ile antioksidan özelliklerinin belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Keller, M. (2010). *The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology*. London: Academic Press .

Lin, J. H., Liang, C. W. and Chang, Y. H. (2016). Effect of starch source on gel properties of kappa-carrageenan-starch dispersions. *Food Hydrocolloids*, 60, 509-515.

Miele, A. (2016). Grapevine yield components and composition of Isabel grape produced according to the organic and conventional systems. *BIO Web of Conferences*, 7, 01011. doi: 10.1051/bioconf/2016071011.

Miele, A., Rizzon, L. A., Queiroz, S. C. N. and Gianello, C. (2015). Physicochemical composition, minerals, and pesticide residues in organic grape juices. *Food Science and Technology*, 35, 120-126.

Miles, M. J., Morris, V.J., Orford, P.D. and Ring, S. G. (1985). The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydrate Research*, 135, 271–281.

Morris, J. R. and Striegler, K. R. (1996). Grape juice: factors that influence quality, processing technology, and economics. L. P. Somogyi, D. M. Barrett, Y.H. Hui (Ed.), *Processing Fruits: Science and Technology* (p. 197-235). Boca Raton; CRC Press.

Pedneault, K. and Provost, C. (2016). Fungus resistant grape varieties as a suitable alternative for organic wine production: Benefits, limits, and challenges. *Scientia Horticulturae*, 208, 57-77.

Pichler, A., Pozderovic, A., Moslavac, T. and Popovic, K. (2017). Influence of sugars, modified starches and hydrocolloids addition on colour and thermal properties of raspberry cream fillings. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 67, 49-58.

Rombaldi, C. V., Bergamasqui, M., Lucchetta, L., Zanuzo, M. and Silva, J.A. (2004). Vineyard yield and grape quality in two different cultivation systems. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 26, 89–91.

Skrovankova, S., Sumczynski, D., Mlcek, J., Jurikova, T. and Sochor, J. (2015). Bioactive compounds and antioxidant activity in different types of berries. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(10), 24673–24706.

Slinkard, K. and Singleton, V. L. (1977). Total phenol analysis: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, 49-55.

Tecante, A. and Doublier, J. L. (2002). Rheological investigation of the interaction between amylose and [kappa]-carrageenan. *Carbohydrate Polymers*, 49(2), 177-183.

Tecchio, M. A., Silva, M. J. R., Paiva, A. P. M., Moura, M. F., Terra, M. M., Pires, E. J. P. and Leonel, S. (2019). Phenological, physicochemical, and productive characteristics of 'Vênus' grapevine onto rootstocks. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 54, e00335.

Teleszko, M., Nowicka, P. and Wojdylo A. (2019). Effect of the addition of polysaccharide hydrocolloids on sensory quality, color parameters, and anthocyanin stabilization in cloudy strawberry beverages. Polish Journal of Food and Nutrition Sciences, 69, 167-178.

Toaldo, I. M., Fogolari, O., Pimentel, G. C., de Gois, J. S., Borges D. L. G., Caliari, V. and Bordignon-Luiz, M. (2013). Effect of grape seeds on the polyphenol bioactive content and elemental composition by ICP-MS of grape juices from *Vitis labrusca* L. *LWT-Food Science and Technology*, 53, 1–8.

Toker, O. S., Dogan, M., Canıyılmaz, E., Ersoz, N. B. and Kaya, Y. (2012). The effects of different gums and their interactions on the rheological properties of a dairy dessert: A mixture design approach. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 896–908.

Verbeken, D., Bael, K., Thas, O. and Dewettinck, K. (2006). Interactions between κ- carregeenan, milk proteins and modified starch in sterilized dairy desserts. *International Dairy Journal*, 16, 482-488.

Wüstenberg, T. (2014). *Cellulose and Cellulose Derivatives in the Food Industry: Fundamentals and Applications (*1st ed.). Tanja Wüstenberg: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Xia, E. Q., Deng, G. F., Guo, Y. J. and L, H. B. (2010). Biological activities of polyphenols from grapes. International Journal of Molecular Sciences, 11, 622-646.

Enerji Performansı Yüksek Yapı Bağlamında Pasif Evler –Almanya/Berlin Örneği

Passive Houses With In The Context Of High Energy Performance Structure – Example Of Germany/Berlin

Selin DURAN*[1,a], Doç. Dr. Semiha KARTAL[2,b]
[1]*Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, 22030, Edirne*
[2]*Trakya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 22020, Edirne*

Öz

Kentleşme ile birlikte teknolojinin gelişimi sonucunda tüm sektörler enerji üretiminden daha fazlasını tüketir hale gelmiştir. Bu bağlamda enerji kullanımına yönelik yaklaşımların da kent, ülke ve dünya ölçeğinde 21. yy. koşul ve olanaklarına göre yeniden tanımlanması gerekliliği oluşmuştur. Yapı sektörünün de gerek inşaat gerekse kullanım sürecinde enerji tüketimi ve sera gazı emisyonları açısından önemli bir paya sahip olması, 2003'te 2002/91/EC sayılı Binaların Enerji Performansı Direktifi ile yapılara yönelik sınırlayıcı kararların alınması sağlanmıştır. Böylelikle enerji verimli ve etkin tasarım anlayışı ile düşük enerji tüketimi sağlayan yapılar, yaklaşık sıfır enerjili, artı enerjili binalar, pasif evler önem kazanmıştır. Bu çalışmada, Dünya, Avrupa, Almanya ve Türkiye'deki pasif ev potansiyelleri araştırılmıştır. Almanya'nın Berlin kentinden seçilen konut işlevindeki Mahlsdorf Evi, Boyenstrasse ve Schönholzer Strasse olarak bilinen 3 pasif ev örneği pasif ev parametreleri açısından incelenmiştir. Yapıların bina kabuğu, mekanik sistem özellikleri ve Pasif Ev Planlama Paketi (PHPP)'ne göre enerji tüketimleri değerlendirilmiştir. Bu örnek uygulamalarla, Türkiye gibi iklimsel verileri, coğrafi özellikleri ve yenilenebilir enerji kaynakları açısından avantajlı ülkelerde, pasif ev anlayışının yaygınlaşmasına katkı sağlaması hedeflenmiştir. Ayrıca Türkiye gibi yapı stoğu ve enerji tüketim payları yüksek ülkeler için yeni yapılacak ve mevcut binaların iyileştirilmesinde pasif ev anlayışının önemi vurgulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Düşük Enerjili Ev, Enerji Kazancı, Enerji Tüketimi, Pasif Ev, PHPP

Abstract

As a result of the development of technology with urbanization all sectors have become consuming more than energy production. In this context, it has become necessary to redefine the approaches to energy use in accordance with the conditions and possibilities of the 21st century on a city, country and world scale. The construction sector also has a significant share in terms of energy consumption and greenhouse gas emissions in both the construction and use process and in 2003, limiting decisions on structures were made by the directive on the energy performance of buildings 2002/91/EC. Thus, buildings that provide low energy consumption with an energy efficient and effective design approach, buildings with nearly zero energy, plus energy, passive houses have gained importance. In this study, passive house potentials in the World, Europe, Germany and Turkey were investigated. Three passive house examples named Mahlsdorf House, Boyenstrasse and Schönholzer Strasse, which are selected from Berlin, Germany, have been examined in term of passive house parametres. The building envelope, mechanical system properties and energy consumption of the buildings were evaluated according to Passive House Planning Package (PHPP). With these exemplary practices, it is aimed to contribute to the spread of the passive house concept in countries such as Turkey, which are advantageous in terms of climatic data, geographical features and renewable energy resources. In addition, the importance of passive house concept in the improvement of new and existing buildings for countries with high building stock and energy consumption shares, such as Turkey was emphasized.

Keywords: Low Energy House, Energy Gain, Energy Consumption, Passive House, PHPP

1. Giriş

Günümüzde artan nüfus, kentleşme ve kullanıcı istekleri sonucunda ham madde ve enerji kaynaklarının tüketimi giderek artmaktadır. Artan enerji tüketimi ile yenilenemez enerji kaynaklarının tükenmesi, CO_2 ve diğer gazların salınımı ile sera gazı emisyonlarındaki artışa bağlı olarak iklim krizi, küresel ısınma, ozon tabakasında incelme gibi küresel ölçekte çevresel sorunlara neden olmaktadır. Çevre sorunlarına neden olan enerji tüketimini sınırlandırabilmek ve azaltabilmek amacıyla ülkeler Kyoto Protokolü, Paris Antlaşması, Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2002/91/EC) gibi çeşitli protokoller, anlaşmalar ve direktifler hazırlamakta ve taraf olanlar ile uygulamaya geçerek tasarruf tedbirlerini ortaya koymaktadır. Kyoto Protokolü ile düşük emisyonun sağlanması; Paris Antlaşması ile küresel ortalama sıcaklık artışını 2°C'nin altında tutma ve iklim değişikliği krizinin direncinin düşürülmesi; Binalarda Enerji Performansı Direktifi ile de bulunulan bölge, iklimsel veriler, konfor şartları ve maliyet göz önünde bulundurularak binaların enerji performansının yükseltilmesi hedeflenmektedir (Göksel Özbalta, 2019; ÇŞB, 2021a; ÇŞB, 2021b).

Sektörler bazında enerji tüketimi incelendiğinde binalar %40, ulaşım %32 ve endüstri %28 orana sahip olduğu görülmektedir (Şekil 1(a)) (Bulut, 2015). Binaların enerji tüketimine bağlı olarak %36'lık sera gazı salınımındaki oranın kullanıcıların artan konfor beklentileri ile gün geçtikçe daha da artması öngörülmektedir (Şekil 2(b)) (Bulut, 2015). Artan konfor beklentilerini minimum enerji tüketerek gerçekleştirebilmek için binaların tükettiği enerjide tasarrufa gidilmelidir. Binalarda Enerji Performansı Direktifi (2002/91/EC)'nin sunduğu şartlarla enerji verimli bina tasarımı yapılarak yüksek oranda tasarruf sağlanabilmektedir.



Şekil 1. (a) Sektör bazında enerji kullanımının dağılımı. **(b)** Binaların sera gazı salınımında oranı (Bulut, 2015)

Gelişen yapı sektörü ile günümüzde enerji etkin binalar söz konusudur. Enerji etkin binalar, iklim verileri, topografya, konum, güneşlenme süreleri, yapı malzemeleri ve potansiyel yenilenebilir enerji kaynakları açısından sunulan verileri değerlendirerek yapılan tasarımlardır. Bu bağlamda çevresel verileri dikkate alan düşük enerjili binalar, yaklaşık sıfır enerjili binalar, pasif evler ve artı enerjili binalar önem kazanmaktadır.

Enerji performansı yüksek söz konusu binalardan pasif ev ile ilgili uluslararası ve ulusal literatürde yapılan araştırmalar, enerjinin binalarda kullanımına yönelik çerçeve oluşturmaktadır. Pasif evler, ısıl konforu çok düşük miktarda enerji kullanarak sağlamaktadır. Pasif evler, kullanıcılarını pasif ev parametrelerini iklimsel verilerle bütünleşmiş bir şekilde tasarlayarak ideal konfor şartlarında, doğa dostu ve enerji verimli binalarda yaşama imkânı sunmaktadır.

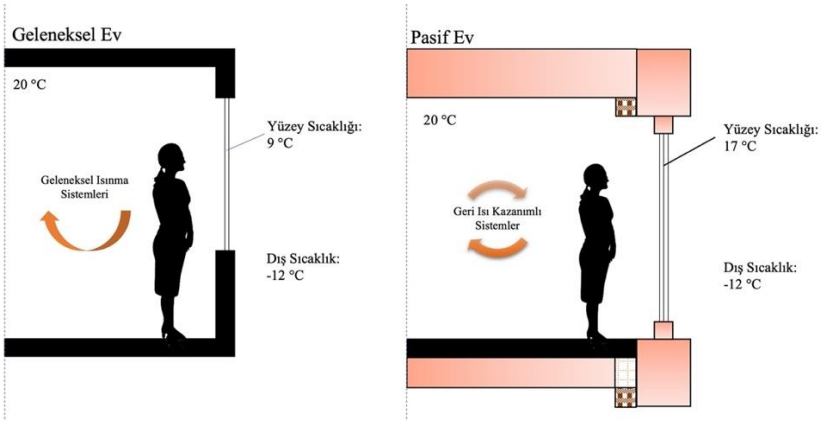
2. Pasif Ev Kavramı ve Gelişim Süreci

Pasif ev, kullanıcıların sağlığını ve refahını üst düzeye çıkaran, ısıtılması ve soğutulması için düşük enerji talep eden, kış ve yaz mevsimlerinde konforlu bir iç ortam sıcaklığına ve hava kalitesine sahip binalardır (Mihai vd., 2017; Johnston vd., 2020). Pasif ev kavramı ilk kez 1988'de Prof. Bo Adamson ve Prof. Wolfgang Feist tarafından oluşturulmuş ve bina enerji verimliliğini arttırmak için geliştirilmiştir. 1996'da kurulan Pasif Ev Enstitüsü tarafından standartlaştırılan pasif ev parametreleri sertifikalandırma programının esaslarını oluşturmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Pasif evlerin gelişim süreci (Duran, 2020)

Bu bağlamda 5 ana ilke mevcuttur. Bunlar; yüksek yüzeyde ısı yalıtımı, enerji verimli pencereler ve kapılar, hava sızdırmaz bina kabuğu, ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma ve ısı köprülerinin oluşmasına engel mimari detay çözümleridir (Şekil 3) (Demirel, 2013).



Şekil 3. Geleneksel ev ve pasif ev karşılaştırılması (Bulut, 2015; Duran, 2020)

Pasif Ev Enstitüsü tarafından geliştirilen Pasif Ev Planlama Paketi (PHPP), sertifikalandırma işlemini gerçekleştirirken kullanılmaktadır (PHI, 2021a). Pasif Ev Enstitüsü, 2012 yılında geliştirdiği EnerPhit ile de mevcut binalarda sertifikalı iyileştirmeler yaparak %90 oranında ısı kayıplarının önüne geçebilmektedir (PHI, 2021b). Bu bağlamda; sıfırdan ve mevcut binalarda yapılan iyileştirmeler ile oluşturulan pasif evlerin sağladığı parametrelerin değerleri, mevcut yapılardaki ısı köprülerinin önüne geçilemediği için, birbirinden farklılık göstermektedir (Tablo 1).

Tablo 1. Pasif evlerin Passivhaus ve EnerPhit olarak sağlaması gereken değerler (PT, 2021)

		Passivhaus	**EnerPHit**
Birincil Enerji Talebi		≤ 120 kWh/m^2.yıl	≤ 120 kWh/m^2.yıl + ısı yükü faktörü
Yıllık Talebi	**Isıtma**	≤ 15 kWh/m^2.yıl	≤ 25 kWh/m^2.yıl
Alan Talebi	**Soğutma**	≤ 15 kWh/m^2.yıl	≤ 25 kWh/m^2.yıl
Özgül Yükü	**Soğutma**	≤ 10 W/m^2	≤ 10 W/m^2
Hava Sızdırmazlık		≤ 0.6 hava değişikliği / saat @n50	≤ 1.0 hava değişikliği / saat @n50

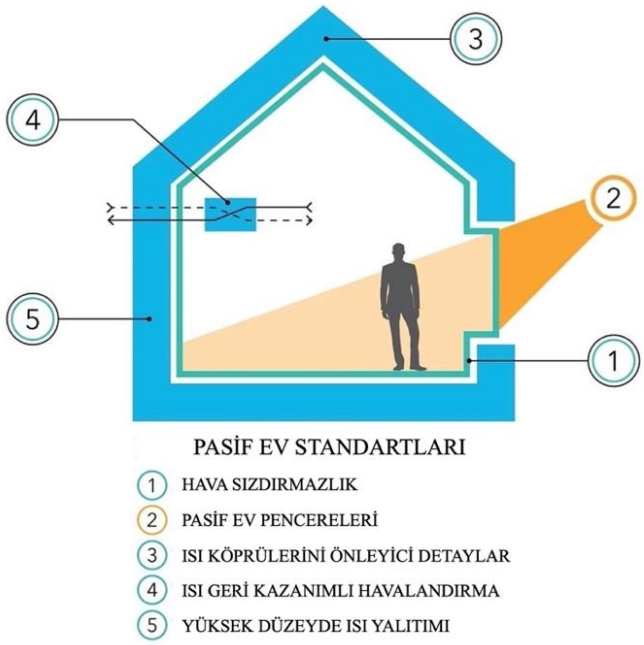
Pasif ev standartlarına göre Klasik, Plus ve Premium Pasif Ev şeklinde sınıflandırmalar söz konusudur. Klasik Pasif Ev, geleneksel bir binaya göre önemli derecede düşük birincil enerji talebine ve yıllık ısıtma talebine sahiptir. Plus Pasif Ev, klasik evden daha düşük enerji talebine sahiptir. Yapıya eklenen PV paneller

ile yenilenebilir enerji üreterek yapının enerji tüketimini yenilenebilir enerji kaynakları ile desteklenmektedir. Premium Pasif Ev, ihtiyaç duyduğundan daha fazla enerji üreten ve artı enerji değerine sahip olan pasif evlerdir (Şekil 4) (PHS, 2021a).



Şekil 4. Pasif ev sınıflandırması (PHS, 2021b)

Pasif evin 5 ana ilkesi değerlendirildiğinde; öncelikle yapı kabuğunun bütün opak malzemelerini kesintisiz bir biçimde saran iç ve dış ortam arasındaki ısı kayıplarını minimuma düşüren yüksek düzeyde ısı yalıtım uygulamasıdır. Pasif ev için en önemli ilke olan yüksek düzeyde ısı yalıtımı en fazla 0.15 W/(m^2K) U-değerini sağlamalıdır. Yapı kabuğunun saydam yüzeylerini oluşturan pencere ve kapılar, tasarımcıların kontrolünde olan yapı elemanlarıdır. Pasif ev için seçilen pencere ve kapıların U-değerleri 0.80 W/(m^2K) veya bu değerden daha düşük olmalıdır. Isı kayıplarını önleyebilmek için kripton ya da argon gazı ile doldurulmuş yüksek yalıtımlı pencereler tercih edilebilmektedir. Bir diğer önemli ilke ise binalardaki açıklıklardan kontrolsüz hava sızıntısını engelleyebilmek için DIN EN 13289'a göre ±50 Pa basınçta saatte %60'ı (0,6h-1) aşmayacak biçimde detay çözümlerinin yapılmasıdır (Demirel, 2013). Böylelikle yapı içindeki hava kalitesinin düşmesi sonucu kullanıcılarda oluşan solunum yolu hastalıklarının ve yapı elemanlarındaki küf vb. hasarların önüne geçilebilmektedir. Yapılarda kenarlar, köşeler ve bağlantı noktaları farklı U-değerlerine sahip yapı elemanlarının yan yana gelmesi sonucu oluşan bölgeler olduğu için ısı köprüleri oluşturma durumları yüksektir. Isı köprülerinin olduğu yerlerden yapılarda yüksek miktarda ısı kayıpları söz konusudur. Çözüm olarak ısı köprülerini önleyici detaylar geliştirilmeli ve uygulanmalıdır. Son olarak, yapı iç konfor koşullarında iç hava kalitesini artıran, kullanıcı memnuniyeti ve sağlığı açısından sorun oluşturmayan, düşük enerjili havalandırma sistemlerinin kullanılmasıdır. Pasif evlerde kirli hava ısısının %75'i temiz havaya aktarılmaktadır (Şekil 5) (PHI, 2021c).



Şekil 5. Pasif evin 5 ana ilkesi (PHS, 2021b)

3. Yöntem

Pasif ev potansiyellerinin Almanya/Berlin bölgesi açısından değerlendirildiği çalışmada literatür araştırması yapılmıştır. Görsel ve yazılı kaynakların yer aldığı ulusal ve uluslararası makaleler, tezler, ilgili kitap ve online kaynaklar incelenmiştir. Dünya, Avrupa, Almanya, Berlin ve Türkiye'deki pasif ev potansiyeli araştırılmış ve çalışma Berlin'de yer alan pasif ev örnekleri ile incelenmiştir. Berlin kentinde yer alan pasif ev örnekleri ve tasarım özellikleri literatür çalışması sonucunda elde edilen veriler ile değerlendirilmiştir.

Tablo 2. Dünya, Avrupa, Almanya, Berlin ve Türkiye'deki pasif yapıların sayıları (Duran, 2020)

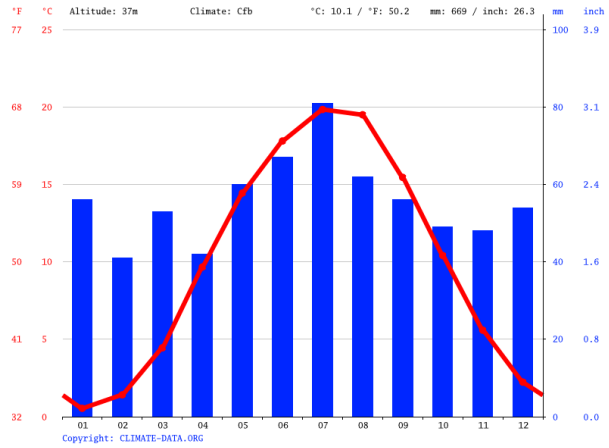
	Pasif Ev	**Sertifikalı Pasif Ev**
Dünya	5110	1724
Avrupa	4620	1456
Almanya	2396	511
Berlin	35	12
Türkiye	2	2

3.1. Almanya/Berlin Bölgesi ve İklim Verileri

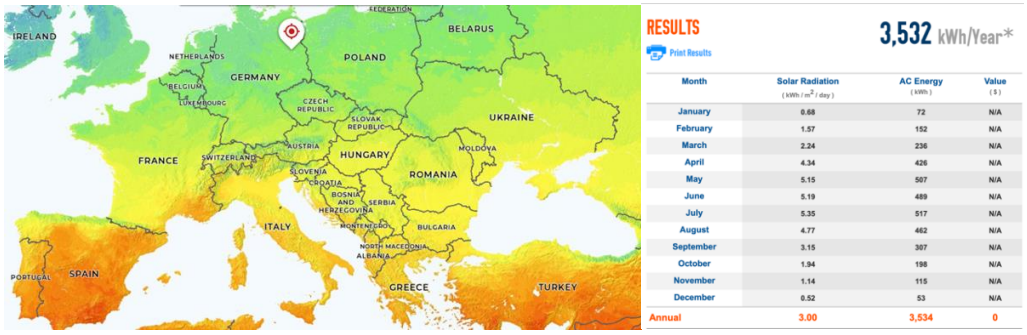
Berlin, genel olarak karasal iklimin etkisinde olup sıcak ve ılıman bir iklime sahiptir. Berlin'de en kurak aylarda bile yağış gözlemlenmekte ve belirgin yağış görülmektedir. Yıllık ortalama yağış miktarı 669 mm'dir. Berlin'in yıllık ortalama sıcaklığı 10.1 °C' tır. 19.8 °C sıcaklıkla Temmuz yılın en sıcak ayıdır. Ocak ayında ortalama sıcaklık 0.5 °C olup yılın en düşük ortalamasıdır (Tablo 3). Ortalama sıcaklık yıl boyunca 19.3 °C civarında değişim göstermektedir (Şekil 6). Berlin'in güneş potansiyeli haritası aşağıda verilmiştir. Berlin, yıllık ortalama 3.532 kWh / m2 / gün güneş ışınım miktarına sahiptir (Şekil 7).

Tablo 3. Almanya/Berlin İklim Tablosu (CD, 2021)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık (° C)	0.5	1.4	4.4	9.7	14.4	17.8	19.8	19.5	15.5	10.4	5.6	2.2
Min. Sıcaklık (° C)	-1.9	-1.4	0.6	4.6	9.4	12.9	15.2	14.9	11.4	7.3	3.2	0.1
Maks. Sıcaklık (° C)	2.8	4.4	8.4	14.4	18.9	22.1	24	23.9	19.6	13.8	8	4.2
Yağış / Yağış (mm)	56	41	53	42	60	67	81	62	56	49	48	54
Nem(%)	84%	81%	77%	68%	66%	64%	65%	65%	71%	80%	86%	84%
Yağmurlu günler (g.)	9	7	9	8	8	8	9	8	7	7	8	9



Şekil 6. Almanya/Berlin ortalama sıcaklık ve yağış (CD, 2021)



Şekil 7. Almanya/Berlin güneş potansiyeli ve ortalama güneş ışınım değerleri (GSA, 2021; PVWatts, 2021)

3.2. Almanya/Berlin Bölgesinde Pasif Ev Potansiyeli

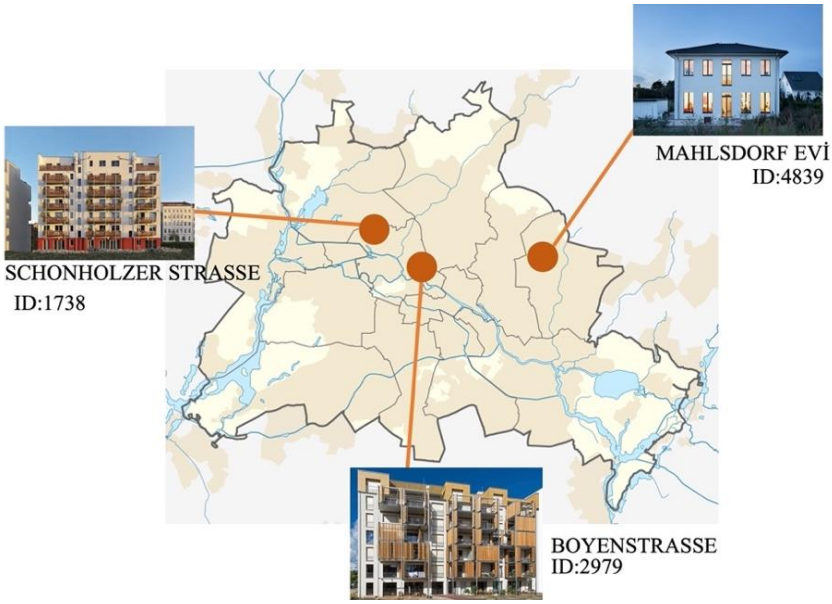
Almanya'nın Berlin kentinde toplam 35 pasif ev bulunmaktadır ve bu pasif evlerin 12 tanesi pasif ev sertifikasına sahiptir. Berlin'deki pasif evler, tek aile evi, müstakil tek aile evi, çok aileli konut, teraslı ev, ikiz ev, çok katlı konut, ofis, kent yerleşkesi ve üniversite kampüsü şeklinde birbirinden farklı işlevlere sahiptir. Berlin'de bulunan pasif evler, 19 adet müstakil tek aile evi ile çoğunluğu oluşturmaktadır (Tablo 4) (PHDB, 2021a).

Tablo 4. Almanya/Berlin bölgesinde bulunan pasif evler ve işlevleri

Yapı Türü	Pasif Ev Sayısı	Yapı Türü	Pasif Ev Sayısı
Tek Aile Evi	1	Apartman	3
Müstakil Tek Aile Evi	19	Ofis	3
Çok Aileli Konut	3	Kent Yerleşkesi	1
Teraslı Ev	3	Okul/Kampüs	1

İkiz Ev	1	**TOPLAM**	**35**

Bu çalışmada Berlin'de bulunan pasif ev sertifikası almış, konut işlevli farklı ölçek ve tipolojilere sahip 3 örnek yapı incelenmiştir. Seçilen pasif evler, Mahlsdorf Evi (ID:4839), Boyenstrasse (ID:2979) ve Schönholzer Strasse (ID:1738) pasif ev veri tabanında kayıtlı oldukları isimleri ve ID numaraları ile Berlin haritasına konumları işlenmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Almanya/Berlin bölgesinde seçilen pasif evlerin konumları

3.2.1. Mahlsdorf Evi ID:4839

İki katlı müstakil konut, tek aile evi olarak ekolojik açıdan tam donanımlı inşa edilmiştir (Şekil 9). Konutta pasif ev kriterlerine bağlı kalarak, yüksek yalıtımlı pencereler kullanılmıştır. Argon dolgulu üçlü ısıcam ve ahşap çerçeveden oluşan pencereler, ısı köprülerini optimize eden yüzeyler ve termal olarak ayrılmış alüminyum hava koruma profilleri şeklinde detaylandırılmıştır. Konutun zemin ve üst katlarında, bulundukları yöne bağlı olarak ısıl geçirgenlik katsayıları farklı camlar kullanılmıştır (Tablo 5). Isıtma talebi ısı pompası ile sağlanmakta ve yeniden ısıtma yoluyla ısı dağılımı sağlanmaktadır. Havalandırma, kompakt ısı pompası ile sağlanmaktadır (PHDB, 2021b).



Şekil 9. Mahlsdorf evi ID:4839 dış ve iç görselleri (PHDB, 2021b)

3.2.2. Boyenstrasse ID:2979

Boyenstrasse 7 katlı ahşap panelli betonarme yapım sistemi ile inşa edilmiş sıfır emisyonlu çok katlı konut olarak bilinmektedir. Merkezi çekirdek etrafında selüloz yalıtımlı perde duvar, ahşap cephe elemanları ve sokak cephesi konsol cumbalı pencereler ile tasarlanmıştır. Boyenstrasse'de bulunan tüm konutlar, güneydoğu ve kuzey batıya yönlenmiştir. Yaz sıcağından korunmak için ayarlanabilir ahşap gölgelendirme elemanları kullanılmış bahçeye bakan bir balkona sahiptir (Şekil 10). Yapının 21 ünitesi, ortak alanı, çatı terası ve ortak

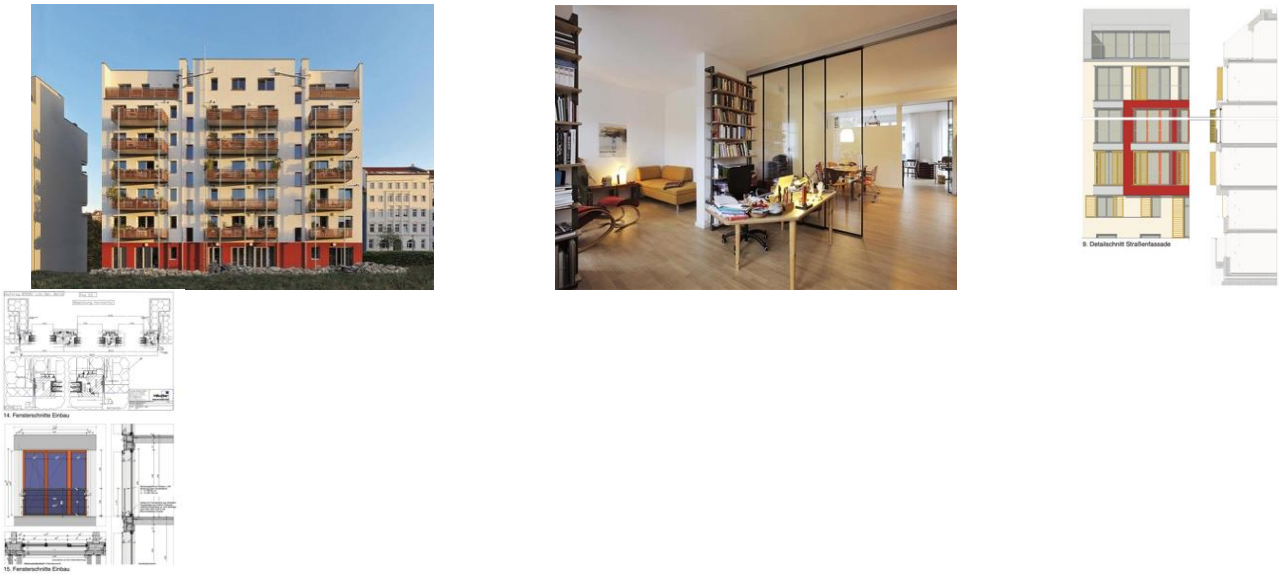
bahçesi bulunmaktadır. Katılımcı planlama yaklaşımı ile inşa edilen bu pasif evde ortak alanlara engelsiz erişim ve engelsiz daireler yapılmıştır. Fotovoltaik paneller, gri su sistemi ve yeşil çatı mevcuttur. Pasif ev kriterlerine bağlı kalarak, yüksek yalıtımlı pencereler kullanılmıştır. Pencereler, argon dolgulu üçlü ısıcam, ahşap-alüminyum çerçeve optimize edilerek detaylandırılmıştır (Tablo 5). Isıtma talebi kojenerasyon ünitesi; havalandırma yarı merkezi sistem ile sağlanmıştır (PHDB, 2021c).



Şekil 10. Boyanstrasse ID:2979 dış ve iç görselleri (PHDB, 2021b)

3.2.3. Schönholzer Strasse ID:1738

Schönholzer Strasse, 7 katlı betonarme yapım sistemi ile yapılmış engelsiz erişimi amaçlayan çok katlı bir yapıdır. Merkezi çekirdek selüloz elyaf yalıtım perde duvarla oluşturulmuş ve ahşap cephe ile detaylandırılmış bir pasif evdir (Şekil 11). Katılımcı planlama anlayışıyla inşa edilen yapı, büyük ailelerin kullanıcılarının ihtiyaçlarına göre kurgulanmış, engellilerin kesintisiz erişimi sağlanmış ve zemin katları ofis birimleri olarak tasarlanmıştır. Tasarım ekolojik olarak gri su sistemi, güneş enerjisi, ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi, yeşil çatı ögelerini barındırmıştır (Passivhaus Objektdokumentation, 2010).



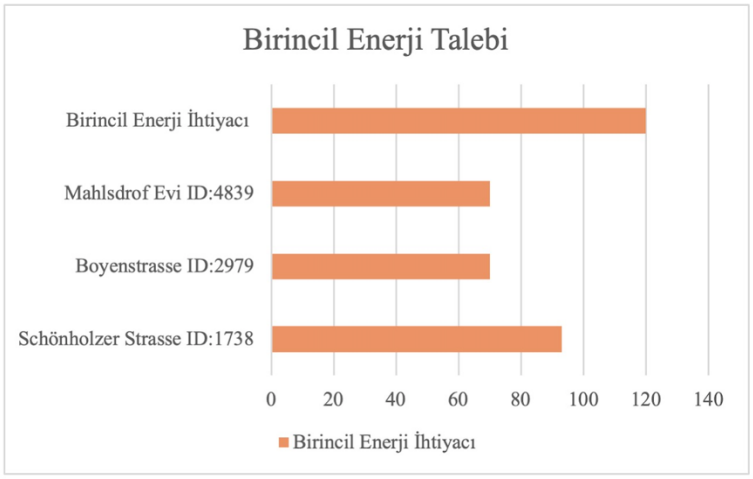
Şekil 11. Schönholzer Strasse ID:1738 dış ve iç görseller (PHDB, 2021d)

Tablo 5. Almanya/Berlin bölgesindeki pasif evlerden seçilen örnekler ve pasif ev standartları

Pasif Evlerin Görselleri ve Sertifikaları	Pasif Ev Standartları			
Pasif Evlerin Adları		Mahlsdorf Evi	Boyenstrasse	Schönholzer Strasse
ID		4839	2979	1738
Bina Tipi		Müstakil Tek Aile Evi	Çok katlı konut	Çok katlı konut
Cam ve Çerçeve	**≤ 0.80 W / (m²K)**	**Cam** Argon dolgulu üçlü ısı yalıtım camı **Güney ve Doğu Zemin Kat:** Ug = 0,68 W / (qmK) g-değeri = %57 **Güney Üst Kat:** Ug = 0,64 W / (qmK) g-değeri = %63 **Kuzey Zemin Kat:** Ug = 0,55 W / (qmK) g-değeri = %39 **Kuzey Üst Kat:** Ug = 0,50 W / (m²K) g-değeri = %56 **Çerçeve** Uw-değeri = 0,84 W / (m²K)	**Cam** Argon dolgulu üçlü ısı yalıtım camı Ug-değer = 0,64 W / (m²K) g-değer = %61 **Çerçeve** Uw-değeri = 0,74 W / (m²K)	**Cam** Argon dolgulu üçlü ısı yalıtım camı Ug-değer = 0,6 W / (m²K) g-değer = %51 **Çerçeve** Uw-değeri = 0,79 W / (m²K)
Giriş Kapısı		Ud-değeri = 0,64 W / (m²K)	Ud-değeri = 1,1 W / (m²K)	Ud-değeri = 0,9 W / (m²K)
U değeri (W/(m²K))	**≤ 0.15 W / (m²K)**	**Dış Duvar:** 0.095 W/(m²K); **Bodrum Kat:** 0.075 W/(m²K); **Çatı:** 0.104 W / (m²K)	**Dış Duvar:** 0.12 W / (m²K); **Bodrum Kat:** 0.12 W / (m²K); **Çatı:** 0.11 W / (m²K)	**Dış Duvar:** 0.11 W / (m²K); **Bodrum Kat:** 0.15 W / (m²K); **Çatı:** 0.13 W / (m²K)
Isıtma		Isı Pompası	Kojenerasyon Ünitesi	Gaz Yoğuşmalı Kazan Yoluyla Isı Üretimi
Havalandırma		Kompakt Isı Pompası Ünitesi	Yarı Merkezi Sistem	Merkezi Olmayan Havalandırma Sistemi
Sıcak Su		Isı Pompası	Kojenerasyon Ünitesi	Güneş Toplacı
Hava Sızdırmazlık	**≤ 0.6 hava değişikliği / saat @n50**	n_{50} = 0.35 / saat	n_{50} = 0.27 / saat	n_{50} = 0.51 / saat
PHPP'ye göre Zemin Alanı		168 m²	2535 m²	2208 m²
Yıllık Isıtma Talebi	**≤ 15 kWh / (m²a)**	15 kWh / (m²a)	8 kWh / (m²a)	15 kWh / (m²a)
Birincil Enerji Talebi	**≤ 120 kWh / (m²a)**	70 kWh / (m²a)	70 kWh / (m²a)	93 kWh / (m²a)

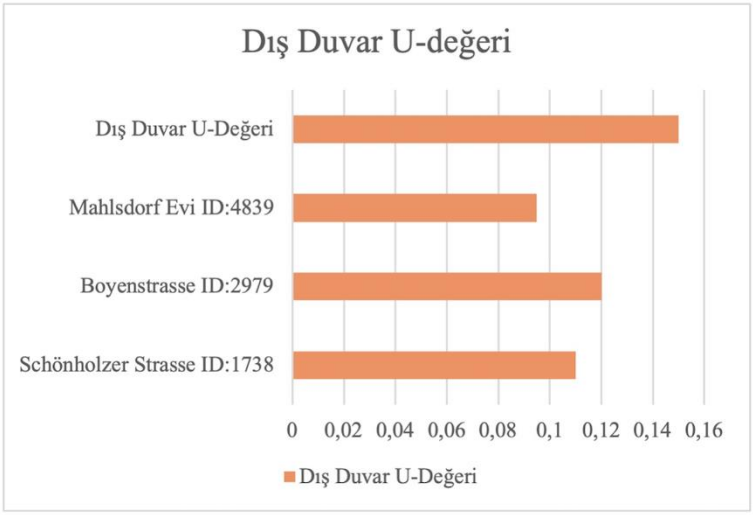
4. Bulgular

Almanya/Berlin kentinden seçilen pasif ev örnekleri Mahlsdorf Evi 70 kWh/(m²a), Boyenstrasse 70 kWh/(m²a) ve Schönholzer Strasse 93 kWh/(m²a) birincil enerji talebi değerlerine sahiptir (Grafik 1). Seçilen pasif evler, birincil enerji talebi değerinin 120 kWh/(m²a) altında olma şartını sağlayarak konutlarda konfor beklentilerini düşük enerji değerleri ile sağlamaktadır.



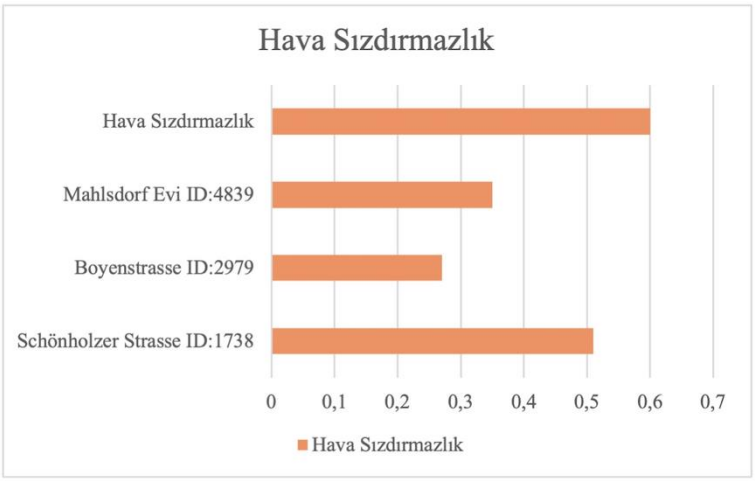
Grafik 1. Almanya/Berlin kentinden seçilen pasif evlerin birincil enerji talebi değerleri

Mahlsdorf Evi 0.095 W/(m^2K), Boyenstrasse 0.12 W/(m^2K) ve Schönholzer Strasse 0.11 W/(m^2K) dış duvar U-değerlerine sahiptir (Grafik 2). Seçilen pasif ev örnekleri arasında Mahlsdorf Evi diğer konutlara göre daha yüksek düzeyde ısı yalıtımına sahiptir.



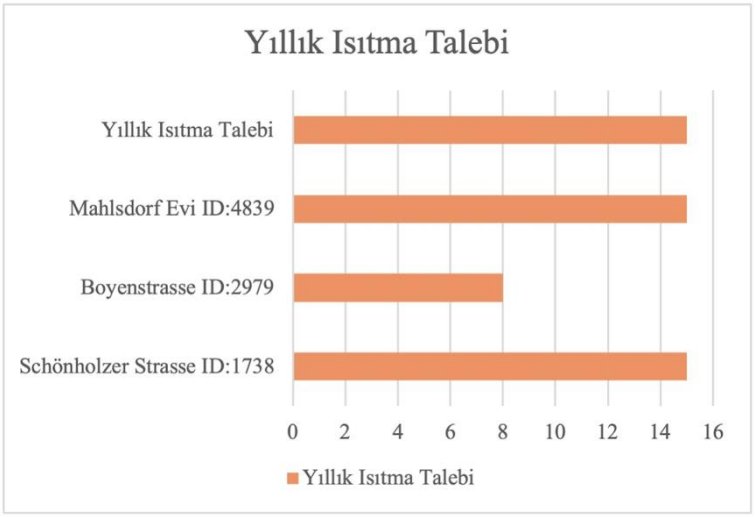
Grafik 2. Almanya/Berlin kentinden seçilen pasif evlerin dış duvar U-değerleri

Mahlsdorf Evi 0.35/saat, Boyenstrasse 0.27/saat ve Schönholzer Strasse 0.51/saat hava sızdırmazlık değerlerine sahiptir (Grafik 3). Boyenstrasse en az hava sızdırmazlık değerine sahip olarak kontrolsüz hava sızıntılarını Mahlsdorf Evi ve Schönholzer Strasse'ye göre daha fazla kontrol etmekte ve hava kaçaklarını önlemektedir.



Grafik 3. Almanya/Berlin kentinden seçilen pasif evlerin hava sızdırmazlık değerleri

Mahlsdorf Evi 15 kWh/(m^2a), Boyenstrasse 8 kWh/(m^2a) ve Schönholzer Strasse 15 kWh/(m^2a) yıllık ısıtma talebi değerlerine sahiptir (Grafik 4). Boyenstrasse pasif evi, Mahlsdorf Evi ve Schönholzer Strasse'ye göre 8 kWh/(m^2a) ile daha düşük yıllık ısıtma talebine sahiptir.



Grafik 4. Almanya/Berlin kentinden seçilen pasif evlerin yıllık ısıtma talebi değerleri

5. Tartışma ve Sonuçlar

Küreselleşme ile birlikte artan nüfus, kentleşme, bilinçsiz kaynak tüketimi beraberinde çevre sorunlarının oluşumuna yol açmıştır. Ozon tabakasının incelmesi, sera gazı emisyon değerlerinin artması, küresel ısınma, iklim değişikliği krizi gibi küresel çevre sorunlarına ülkeler farklı sektörlerde çevreci ve ekolojik hareketler geliştirmiştir. Bina sektöründeki enerji tüketim payının %40 gibi yüksek oranda olması ise enerji etkin ve verimli binaların tasarlanması ve inşa edilmesi zorunluluğunu oluşturmuştur. Ülkelerin bağlayıcı kararları ile düşük enerjili binaların inşa edilmesi ve standartların geliştirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada araştırılan pasif evlerin Pasif Ev veri tabanına göre Dünyadaki potansiyeli incelendiğinde yaklaşık %46'lık bir oran ile önemli bir payının Almanya'da gerçekleştirildiğini söylemek mümkündür. Ayrıca yine aynı veri tabanına göre, Dünya'da 5110 kayıtlı pasif evin 1724'ü sertifikalı, Almanya'da 2396 kayıtlı pasif evin 511'i sertifikalı, Berlin'de 35 kayıtlı pasif evin 12'si sertifikalı ve Türkiye'de ise 2 kayıtlı pasif evin 2'sinin de sertifikalı olduğu belirlenmiştir.

Berlin örneklem alanında ise pasif evlerin işlevsel olarak 30 konut, 3 ofis, 1 kent yerleşkesi ve 1 kampüsten oluştuğunu ve bu veriler doğrultusunda yaklaşık %85 oranında konut işlevinde pasif evin olduğu görülmüştür. Çalışmada seçilen örnek yapıların, pasif ev standartlarını, yüksek düzeyde yalıtımı, pasif ev pencerelerini, hava sızdırmazlığı, ısı geri kazanımlı havalandırma sistemlerini ve ısı köprülerini önleyen detaylarını gerekli değerlerde sağlamıştır. Seçilen örnekler arasında Boyenstrasse ID:2979 yapısı, PHPP'ye göre, birincil enerji talebi, hava sızdırmazlık değeri ve yıllık ısıtma talebi açısından diğer örneklere göre düşük değerlere sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak Türkiye gibi özellikle güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynak potansiyeli yüksek ve iklim verileri açısından daha avantajlı ülkelerde, mevcut ve/veya yeni yapılacak konutların pasif ev anlayışı ile desteklenmesi önemlidir.

Kaynaklar

Bulut N. (2021, 10 Ocak). Pasif evler ve fırsatlar. *İzocam.* Erişim adresi http://www.imsad.org/Uploads/Etkinlikler/Adana/izocam_nuri_bulut.pdf

CD-Climate Data: Berlin iklim. (2021, June 3). Retrieved from https://tr.climate-data.org/avrupa/almanya/berlin/berlin-2138/

ÇŞB – Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Kyoto Protokolü. (2021a, 24 Nisan) Erişim adresi https://iklim.csb.gov.tr/kyoto-protokolu-i-4363

ÇŞB – Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Paris Anlaşması. (2021b, 24 Nisan) Erişim adresi https://iklim.csb.gov.tr/paris-anlasmasi-i-98587

Demirel, B. (2013). *Pasif ev uygulamasının Türkiye için değerlendirilmesine yönelik bir çalışma*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Duran, S. (2020). *Pasif ev-Almanya/Berlin örneklerinin incelenmesi*. Mimaride Güneş Enerjisi Dersi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

GSA-Global Solar Atlas: Berlin (2021, May 5). Retrieved from https://globalsolaratlas.info/map?c=45.042478,14.853516,5&s=52.509535,13.381348&m=site

Göksal Özbalta, T. (2019). *Yaklaşık sıfır enerjili binalar ve yerleşimleri.* 8. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, Mersin.

Johnston, D., Siddall, M., Ottinger, O., Peper S. and Feist W. (2020). Are the energy sayings of the passive house standard reliable? A review of the as-built thermal and space heating performance of passive house dwellings from 1990 to 2018. *Energy Efficiency, 13*(8), 1605.
https://doi.org/10.1007/s12053-020-09855-7

Mihai,M., Tanasiev, V., Dinca C., Badea, A. and Vidu, R. (2017). Passive house analysis in terms of energy performance. *Energy and Buildings.*
http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.enbuild.2017.03.025

PHDB-Passive House Database. (2021a, May 14). Retrieved from https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en

PHDB-Passive House Database: ID:4839. (2021b, May 9). Retrieved from https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en#d_4839

PHDB-Passive House Database: ID:2979. (2021c, May 11). Retrieved from https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en#d_2979

PHDB-Passive House Database: ID:1738. (2021d, May 15). Retrieved from https://passivehouse-database.org/index.php?lang=en#d_1738

PHI-Passive House Institute: Passive house institute / about us. (2021a, April 27). Retrieved from https://passiv.de/en/01_passivehouseinstitute/01_passivehouseinstitute.htm

PHI-Passive House Institute: EnerPHit – certified retrofits with Passive House components. (2021b, April 27). Retrieved from https://passiv.de/en/03_certification/02_certification_buildings/04_enerphit/04_enerphit.htm

PHI-Passive House Institute: Passive House requirements. (2021c, April 28). Retrieved from https://passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm

PHS-Passive House School: Passive house classes (2021a, May 14). Retrieved from https://www.instagram.com/p/B8E9qfNpzey/ Url-7

PHS-Passive House School: Passive house principles. (2021b, May 14). Retrieved from https://www.instagram.com/p/Btvna6AFD25/

PT-Passivhaus Trust: What is Passivhaus? (2021, April 27). Retrieved from https://www.passivhaustrust.org.uk/what_is_passivhaus.php

PVWatts: PVWatts Calculator Berlin (2021, May 9). Retrieved from https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php

Passivhaus Objektdokumentation. (2010). Mehrgenerationen Wohngebaude in Berlin-Mitte. Retrieved from https://www.ig-passivhaus.de/objektdokumentationen/Deimel_Berlin-Mitte.pdf

Ahşap Yüksek Yapılar

Burak ÖZŞAHİN[1*]
Kırklareli Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü, 39100, Kırklareli

Öz
Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanımı yüzyıllar öncesine dayanmasına rağmen, 20. yüzyılda çelik ve betonarmenin yapı endüstrisine girmesi ile birlikte, ahşap yapı malzemesine olan talep ve ahşabın yapıda kullanımı azalmıştır. 21. yüzyılda çelik ve betonarme üretiminde çok fazla enerji kullanılması, çok fazla karbon salınımına sebep olmasından dolayı günümüz tasarımcı ve kullanıcılarının ihtiyaç duyduğu çevreye en az zarar verecek yeşil ve sürdürülebilir mimari ihtiyacına uygun çözümün endüstriyel ahşap olduğu düşünülmektedir. Teknolojideki gelişmeler ile birlikte doğal ahşap malzemedeki sorunlar giderilerek üretilen, doğal ahşaba göre daha iyi mekanik özelliklere sahip endüstriyel ahşap malzemeye, ahşap çok katlı binaların tasarımı ve inşasına olan ilgili tüm dünyada her geçen gün artmaktadır. Bu çalışmada ahşap yüksek yapılar, ahşap yüksek yapı malzemeleri, ahşap yüksek taşıyıcı sistemleri, ahşap yüksek yapı birleşimleri hakkında genel bilgi verildikten sonra yurtdışında yapımı tamamlanmış ahşap yüksek yapı örnekleri kısaca tanıtılmıştır. Çalışma ile birlikte yurt dışında uygulamaları her geçen gün artan, Türkiye'de henüz uygulaması olmayan ahşap yüksek yapıların Türkiye'deki tasarımcılara tanıtılması, endüstriyel ahşap ürünlerin yüksek yapılarda güvenle kullanılabileceği ve Türkiye'de mevcut yapı yönetmeliklerine ahşap yüksek yapılar, tasarım kuralları ve uygulama detaylarının eklenmesi ile ilgili bir farkındalık yaratılması amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Ahşap, Endüstriyel Ahşap, Yüksek Yapılar, Yüksek Yapı Tasarımı

Tall Timber Buildings

Abstract
Although the use of wood as a building material dates back centuries, with the introduction of steel and reinforced concrete into the building industry in the 20th century, the demand for wood as a building material and the use of wood in construction decreased. In the 21st century, due to the fact that too much energy is used in the production of steel and reinforced concrete and it causes too much carbon emissions, it is thought that engineered timber is the solution suitable for the green and sustainable architectural need that will cause the least damage to the environment, needed by today's designers and users. With the developments in technology, the interest in the engineered timber material, which is produced by eliminating the problems in natural wood material and has better mechanical properties than natural wood, and the design and construction of tall timber buildings all over the world, is increasing. In this study, after general information about tall timber buildings, tall timber building materials, tall timber building structural systems, tall timber building connections, examples of tall timber buildings completed abroad are briefly introduced. With the study, the introduction of tall timber buildings, whose applications abroad are increasing and which have not yet been implemented in Türkiye, to designers in Türkiye, that engineered timber products can be used safely in tall buildings and that tall timber buildings, to raise awareness about design rules and application details are added to the existing building regulations in Türkiye is aimed.

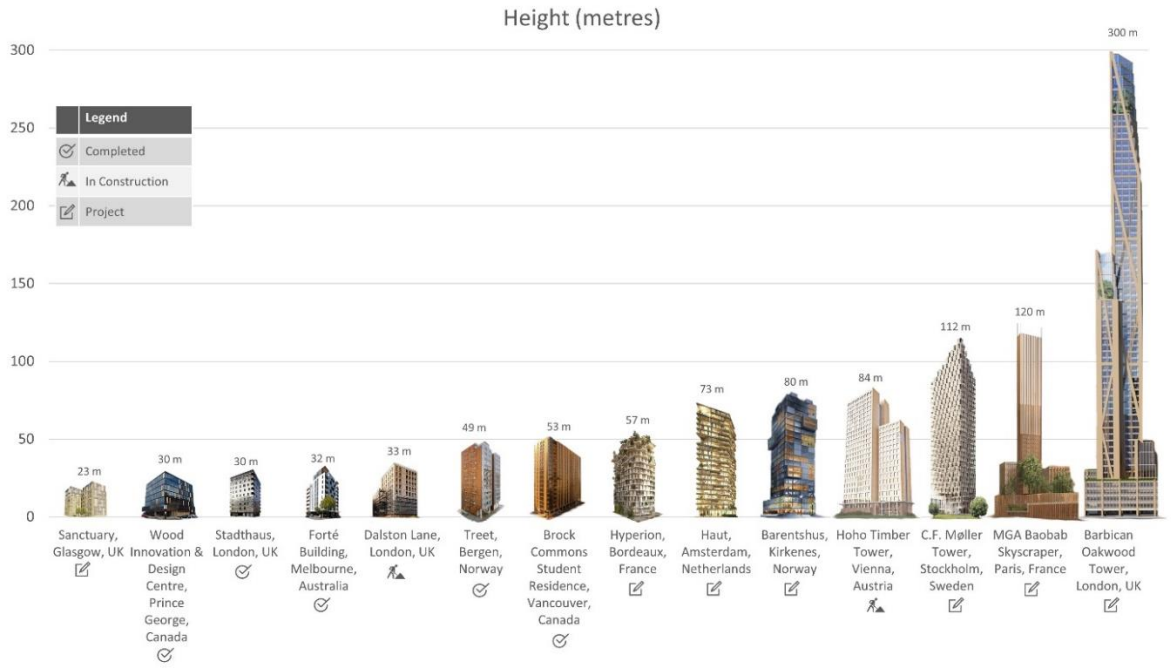
Keywords: Wood, Engineered Timber, Tall Buildings, Tall Buildings Design

1. GİRİŞ

Endüstri devrimi ile birlikte tüm dünyada kentsel nüfusun hızla artması, kentsel alandaki arsaların yetersiz ve maliyetlerinin yüksek olması, hızlı kentsel büyümenin getirdiği sosyal ve kültürel taleplerin karşılaması amacıyla binalar giderek yükselmiştir. Yüksek yapının kesin bir tarifinin yapılması oldukça zor olmasına rağmen, yüksek yapılar taşıyıcı sistem, tesisat, cephe sistemleri, düşey sirkülasyon çözümleri, işletim sistemleri, yangın önleme açısından karmaşık sistemler ve geleneksel yapılara göre daha ileri bir teknoloji gerektiren, bulunduğu bölgenin trafik, altyapı, iklim ve çevre düzeni, şehrin silüeti, ulaşım ve haberleşme sistemleri üzerinde ciddi etkileri olan belirli bir yükseklik sınırının üstünde kat adedine sahip binalar olarak tanımlanabilir (Günel ve Ilgın, 2014a; Günel ve Ilgın, 2014b; Yüksek, 2017; İlerisoy ve Başgül; 2019).
İnşaat teknolojisindeki ilerleme yüksek binaların gelişiminde diğer yapı türlerine göre çok daha önemli bir rol oynamış, ilk gökdelen olarak kabul edilen 12 katlı 55 m yüksekliğindeki Home Insurance Building'ten (1885) yaklaşık olarak 100 yıl sonra Burj Khalife (2010) ile yüksek binalar 828 m yüksekliğe ulaşırken, önceleri sadece Kuzey Amerika'da karşılaşılan yüksek binalar günümüzde dünyanın hemen hemen her büyük şehrinde karşımıza çıkmaktadır. Yükseklik yarışı, yapısal analiz ve tasarımdaki yenilik ve gelişmeler, yüksek dayanımlı malzemeler ve yapım teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde günümüzde de artan bir hızla devam etmektedir (Günel ve Ilgın, 2014a; Günel ve Ilgın, 2014b; CTBUH, 2021).
Modern şehirlerin çoğunun inşasında kullanılan çelik ve beton endüstrilerinin enerji yoğun olması ve küresel karbon emisyonlarına önemli miktarda katkıda bulunması sebebiyle günümüzde yüksek yapılarda taşıyıcı sistem malzemesi olarak çelik ve betonarmenin yanında endüstriyel ahşap da kullanılmaktadır (Kuzmanovska vd., 2018; Aydın, 2019; Barber, 2019; Van De Kuilen vd., 2011; Waugh vd., 2010; Çağlayan, 2020; Şentürk 2020; Ramage vd., 2017). Ahşap yapı malzemesi, enerji verimliliği, hızlı inşaat imkanı, sismik kapasitesi ve sürdürebilirlik özellikleri nedeniyle betonarme, çelik gibi diğer geleneksel yapı malzemelerine uygun alternatif haline gelmektedir (Follessa vd., 2018). Geçmişte yapılarda çok fazla kullanılmasına rağmen titreşim, akustik, çevresel etkilere ve yangına karşı düşük dayanım gibi sorunlarından dolayı popülerliğini kaybeden doğal ahşap, endüstriyel ahşap teknolojideki ilerleme ile birlikte bu sorunlara karşı geliştirilen çözümler sayesinde son yıllarda yapı taşıyıcı sistemlerinde daha fazla kullanılmaya başlanmış ve endüstriyel ahşabın kullanımı her geçen gün artmaktadır (Jorissen ve Leijten, 2018). Bu çalışmada Türkiye dışında yaygın kullanımı olan endüstriyel ahşap, ahşap yüksek yapılar ve taşıyıcı sistemleri incelenmiştir.

2. AHŞAP YÜKSEK YAPILAR

Kereste, levha, yonga, lif, talaş gibi ahşap ürünlerinin bağlayıcı maddeler kullanılarak çeşitli şekillerde fabrika ortamında bir araya getirilmesiyle oluşturulan homojen ve izotrop malzemeye endüstriyel ahşap denir (Güzel ve Yesügey, 2015). Diğer yapı malzemelerine göre yenilenebilir olması, karbon ayak izinin daha az olması, üretiminde daha az enerji gerektirmesi, inşası sırasında çevreye daha az zarar vermesi ve inşaat süresini kısaltması gibi üstünlükleri nedeniyle endüstriyel ahşap, günümüzde yüksek yapılarda taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanılmaktadır (Kuzmanovska vd., 2018; Aydın, 2019; Barber, 2019; Van De Kuilen vd., 2011; Waugh vd., 2010; Çağlayan, 2020; Şentürk 2020; Ramage vd., 2017). Yapılı çevre sürekli değişmekte olup, tüm dünyada daha yüksek ahşap binaların tasarımı ve inşasına olan ilgi artmaktadır (Barber, 2015) (Şekil 1).



Şekil 1: Yapımı tamamlanmış, inşa halinde ve yapımı planlanan ahşap yüksek yapılar (Hoho Wien,2020)

Bir yapının hangi yükseklik veya kat adedinden sonra yüksek yapı veya çok yüksek yapı olarak adlandırılacağına dair genel bir fikir birliği bulunmamaktadır (Günel ve Ilgın, 2014a). Bina yükseklik ölçümü üzerinde bile farklı yaklaşımlar mevcuttur. Yüksek Binalar ve Kentsel Yaşam Konseyi-Council on Tall Buildings and Urban Habitat (CTBUH)'a göre en alt seviyesindeki açık hava yaya girişinden itibaren anten veya bayrak direği hariç bina tepesine kadar 14 kat veya 50 m yüksekliği ve üzerindeki binalar "yüksek bina", 300-600 m arasında yüksekliğe sahip binalar "çok yüksek bina", 600 m yüksekliğin üzerindeki binalar ise "mega yüksek bina" olarak kabul edilir ve adlandırılır (CTBUH, 2021). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019 (TBDY 2019)'da yüksek binalar için deprem tasarım sınıfına (DTS) göre deprem hesabı yönünden üç farklı yükseklik değeri verilmektedir. TBDY 2019'a göre DTS=1, 1a, 2 ve 2a için yüksekliği 70 m'den fazla olan binalar; DTS=3, 3a için yüksekliği 91 m'den fazla olan binalar; DTS=4, 4a için yüksekliği 105 m'den fazla olan binalar yüksek bina olarak sınıflandırılmaktadır (TBDY 2019). Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği 2017'de bina yüksekliği 21.50 m'den veya yapı yüksekliği 30.50 m'den fazla olan binalar "yüksek yapı", bina yüksekliği 51.50 m'den veya yapı yüksekliği 60.50 m'den fazla olan binalar "çok yüksek yapı" olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel ahşabın taşıyıcı sistem malzemesi olarak kullanıldığı çok katlı binaların yaygınlaşması ile birlikte, yüksek binaların tanımı ve kabulü için kullanılan yukarıda kısaca açıklanan genel kabul görmüş kriterler yetersiz kalmaktadır. Günümüzde ahşap yüksek binaların tanımı ve kabulü ile ilgili genel bir fikir birliği bulunmadığı için en yüksek ahşap bina unvanıyla ilgili çeşitli ihtilaflar oluşmaktadır (Foster vd., 2018). Son yıllarda kullanımı giderek artan ahşap yüksek yapılar hakkında genel bilgi aşağıda kısaca verilmiştir.

2.1 Ahşap Yüksek Yapı Malzemeleri

Doğal ahşaptan elde edilen ürünler, sınırlı boyutlarda ve nitelikte olup, bu ürünlerin çevresel etkilere ve yangına karşı dayanımları düşüktür. Endüstriyel ahşap malzeme, doğal ahşapta bulunan sakıncalar iyileştirilerek üretilen doğal ahşap malzemeye göre daha yüksek mekanik özelliklere sahiptir. Doğal ahşabın belli başlı yöntemlerle kesilip tabaklar haline getirildikten sonra bağlayıcı malzemeler ile çeşitli boyut ve şekillerde fabrika ortamında belirli bir basınç altında bir araya getirilmesiyle oluşturulan endüstriyel ahşap malzeme sayesinde dünyada her geçen gün azalmakta olan orman kaynakları daha etkin bir şekilde kullanılarak daha büyük ve farklı şekilli kesitler, doğal ahşaba göre daha nitelikli ve daha ucuz olarak üretilmektedir (Güzel ve Yesügev, 2015; Aydın, 2019; Şentürk, 2020).

Yapılan literatür taramasında ahşap yüksek yapı taşıyıcı sistemlerinde endüstriyel ahşap ürünlerden tutkallı tabakalı ahşap (Glulam, GLT) ve çapraz lamine ahşabın (CLT) yaygın olarak, çivili lamine ahşap (NLT), ağaç çivili lamine ahşap (DLT) ve lamine kaplama ahşabın (LVL) ise daha az kullanıldığı görülmüştür (Aydın,

2019; Şentürk, 2020; Güzel ve Yesügev, 2015; CTBUH, 2021; Barber, 2015; Ramage vd., 2017; Jorisson ve Leijten, 2018).
Ahşap yüksek yapı taşıyıcı sistem elemanlarında endüstriyel ahşap malzemelerin yanında betonarme ve çelik de kullanılmakta olup, çalışmanın bu bölümünde endüstriyel ahşap ürünler kısaca tanıtılmıştır.

2.1.1 Tutkallı Tabakalı Ahşap (Glulam, GLT)

Tutkallı tabakalı ahşap, glulam, kerestenin genellikle büyük boyutlu kiriş, kolon ve panel gibi taşıyıcı sistem elemanlarını oluşturmak için uç uca, yan yana ve üst üste eklenmesiyle üretilen endüstriyel ahşap ürünüdür (Resim1). Tutkallı tabakalı ahşap, glulam, üretiminde keresteler uç uca, kenardan kenara ve yüz yüze eklendikleri için nihai ürünün boyutları, üretim tesisi ve nakliye sistemi kapasitesi ile sınırlı olup, doğal ahşaptan üretilemeyecek boyut ve şekilde kesitler glulam ile üretilebilmektedir. Glulamı oluşturan tabakalardaki elemanların lif yönleri genellikle birbirine paralel olup, imalat sonrası boyutsal değişimleri en aza indirmek için tabakaları oluşturan keresteler, işlenme ve birleştirme öncesi fırınlarda belirli bir nem içeriğine kadar kurutulmaktadır (Aydın, 2019; Çağlayan, 2020; Şentürk, 2020, MET, 2018).



Resim 1: Tutkallı Tabakalı Ahşap (GLT) (Bimobject, 2020)

2.1.2 Çapraz Lamine Ahşap (CLT)

Çapraz lamine ahşap, fırınlarda belirli bir nem içeriğine kadar kurutulan ahşap şeritlerin lif boyunca uzunlamasına kesilerek, lif yönleri birbirine zıt olacak biçimde tutkalla veya perçinlenerek oluşturulan endüstriyel ahşap ürünüdür (Şekil 2). Çapraz lamine ahşabın, tutkallı tabakalı ahşaptan farkı, tabakaların yönlerinin birbirine zıt olarak yerleştirilmesidir. Çapraz lamine ahşabın yük taşıma kapasitesi, ürünü oluşturan ahşap malzemenin mekanik özellikleri ve kalınlıklarına bağlı olarak değişmektedir. Çapraz lamine ahşap birbirine genellikle 90°'lik açıyla birleşen 3-5-7 veya daha fazla tabakadan oluşur ve tabakalar arasındaki yük taşımaya önemli katkısı olan yoğun bir tutkal tabakası veya perçin kullanılır. Günümüzde çapraz lamine ahşap, hafifliği, hızlı montaj imkânı, mekanik dayanım ve ekonomikliği gibi üstlükleri sebebiyle yapı malzemesi olarak yaygın kullanıma sahiptir (Aydın, 2019; Çağlayan, 2020; Şentürk, 2020, MET, 2018).



Resim 2: Çapraz Lamine Ahşap (CLT) (Thinkwood, 2021a)

2.1.3 Çivili Lamine Ahşap (NLT)

Çivili lamine ahşap (NLT), kerestenin boyuna geniş yüzeyleri birbirine gelecek şekilde tabakalanıp, çivilenerek ya da vidalanarak, geniş düz paneller biçiminde oluşturulan endüstriyel ahşap yapı elemanlarıdır (Resim 3). Çivili lamine ahşapta, kereste tabakalarını birbirine bağlayan çivi veya vidaların boyu, en az iki bitişik tabakayı geçip üçüncü tabakanın yarısına kadar olmalıdır. (Aydın, 2019; MET, 2018).



Resim 3: Çivili Lamine Ahşap (NLT) (Thinkwood, 2021b)

2.1.4 Ağaç Çivili Lamine Ahşap (DLT)

Ağaç çivili lamine ahşap (DLT) ile çivili lamine ahşabın laminasyon yöntemi aynı olup, aralarındaki tek fark tabakaları birleştirmede çivili lamine ahşapta çivi veya vida kullanılırken; ağaç çivili lamine ahşapta sert ahşaptan yapılmış ahşap çivi kullanılmasıdır. Yüksek yoğunluklu sert ağaç türlerinden üretilen ahşap çiviler, katmanlarda açılan aynı çaplı deliklere hidrolik pres ile yerleştirilmektedir. (Aydın, 2019; MET, 2018). Çivili lamine ahşap ürünlerinde metal çivilerden dolayı etkin kesim yapılamaması sorunu, ağaç çivili lamine ahşap ürünlerinde ağaç çiviler kullanılarak çözülmüştür (Şentürk, 2020).



Resim 4: Ağaç Çivili Lamine Ahşap (DLT) (Naturallywood, 2002; Thinkwood, 2021a)

2.1.5 Lamine Kaplama Ahşap (LVL)

Lamine kaplama ahşap (LVL) ürünlerinde malzemeye daha fazla dayanım kazandırılırken doğal ahşapta yük etkisinde oluşan burulma, yarılma, çatlama ve kendi eksen etrafında dönme sorunları büyük miktarda azaltılmıştır (Resim 5). İnce uzun ahşap şeritlerin belirli bir nem içeriğine kadar kurutulup, liflerine paralel kesitleri boyunca ısı ve basınç etkisi altında lamine edilerek birleştirilmesiyle her boyutta üretilen lamine kaplama ahşapta, boyutsal stabiliteyi arttırmak için lif yönleri çapraz olarak da düzenlenebilir.



Resim 5: Lamine Kaplama Ahşap (LVL) (Sinoventure, 2020)

2.1.6 Paralel Yonga Ahşap (PSL)

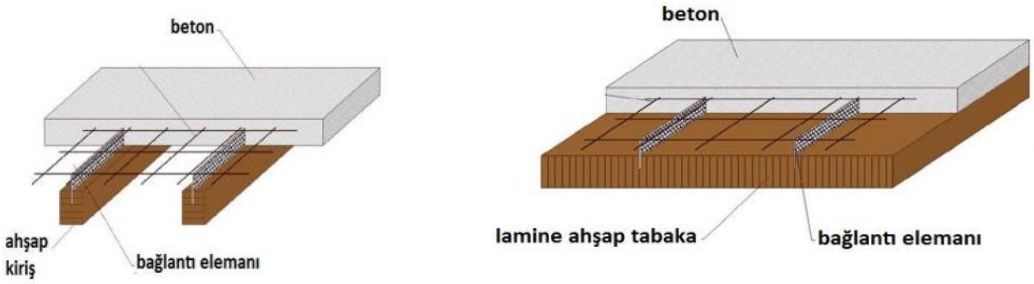
Paralel yonga ahşap (PSL), lamine kaplama ahşap (LVL) gibi belirli bir nem içeriğine kadar kurutulan ahşap kaplama parçalarının birbirlerine paralel olarak yapıştırılmasıyla oluşturulan yüksek mukavemet, rijitlik ve boyut stabilitesine sahip endüstriyel ahşap yapı malzemesidir (Resim 6).



Resim 6: Paralel Yonga Ahşap (PSL) (Weyerhaeuser, 2020)

2.1.7 Ahşap Betonarme Kompozit (TCC)

Ahşap betonarme kompozit (TCC), farklı bağlantı elemanları yardımıyla ahşap taşıyıcı kirişin ya da platformun bir üst betonarme tabliye (plak) ile bağlantısı yapılarak oluşturulan, taşıyıcı kompozit sistemidir. Sistemde çekme kuvvetlerine ahşabın, basınç kuvvetlerine ise betonarme plağın dayanım göstermesi ile her iki yapı malzemesinin üstün özelliklerden yararlanılmaktadır. Ahşap ile betonarme katmanlar arası bağlantı sayesinde iki malzeme arasında sağlanan etkin kompozit birleşimi sonucu, orta ve büyük açıklıklı döşemeler inşa edilebilmektedir (Resim 7). Ahşap betonarme kompozitler binalarda döşemelerin yanı sıra, duvar paneli ve çatı kaplaması olarak da kullanılmaktadır (Halıcıoğlu ve Yürekli, 2016).

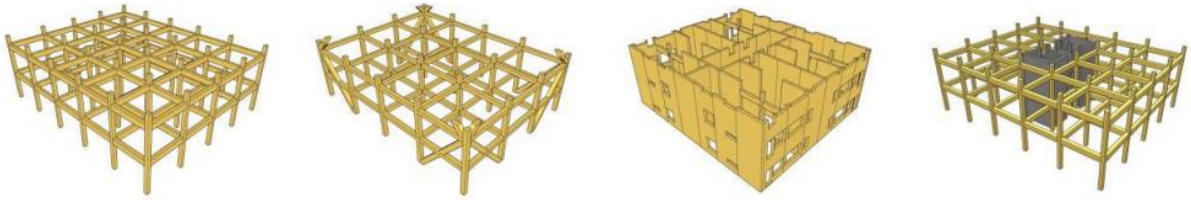


Şekil 2: Ahşap Beton Kompozit (TCC) Döşeme (Halıcıoğlu ve Yürekli, 2016).

2.2 Ahşap Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistemleri

Ahşabın, yapı malzemesi olarak kullanımı yüzyıllar öncesine dayanmaktadır. Ancak 20. yüzyılda çelik ve betonarmenin yapı endüstrisine girmesiyle birlikte ahşap malzemeye olan talep ve ahşabın yapıda kullanımı azalmıştır. 21. yüzyılda çelik ve betonarme üretiminde çok fazla enerji kullanılması, doğaya verdiği karbon salınımının belirgin hale gelmesi, sera gazlarındaki artışa bağlı olarak oluşan küresel ısınma ve teknolojideki gelişmeler ile doğal ahşaptaki sorunlar giderilerek üretilen endüstriyel ahşap, yapılarda ve yüksek yapılarda kullanılmaya başlamıştır. Ahşap yüksek yapılarda betonarme genellikle yapı temellerinde, bina bodrum ve/veya zemin katlarında, yapı çekirdeklerinde kullanılmaktadır (Kuzmanovska vd, 2018; Aydın, 2019; Barber, 2015; Van De Kuilen vd., 2011; Waugh vd.,2010; Çağlayan, 2020; Şentürk, 2020; Ramage vd., 2017; Güzel ve Yesügey, 2015). Ahşap yüksek binalar betonarme, çelik ve kompozit taşıyıcı sisteme sahip yüksek binalara nazaran daha hafif, narin ve esnek olduğu için yanal ötelenmelere meyillidir ve yatay yükler özellikle rüzgar yükleri altında bina salınımları tasarımcıların karşılaştığı en önemli sorunlardan biridir. Rüzgâr etkisinde yüksek binalarda rüzgar yönünde hareket, rüzgara dik yönde hareket ve burulma hareketi oluşur. Çoğu yüksek binanın rüzgara dik yönde hareketi ve burulma hareketi, rüzgar yönünde hareketinden daha kritiktir (Günel ve Ilgın, 2014a). Yüksek yapıların mimari tasarımda, hakim rüzgar yönüne göre binanın konumlandırılması, silindirik, eliptik, konik ve burgulu aerodinamik form seçilmesi, bina cephesinde eğim ve çekmeler yapılarak binanın üst katlara doğru sivrileştirilmesi, bina üst kısımlarındaki rüzgar kaynaklı girdap etkisini azaltacak aerodinamik bina tepesi, köşe geometrisinde iyileştirmeler (yuvarlatılmış, pahlı, nişli, yivli köşe) gibi değişikliklerle rüzgarın dinamik etkileri önemli ölçüde azaltılabilir (Günel ve Ilgın, 2014a).
Literatürde yer alan ve uygulanan birçok yüksek yapı taşıyıcı sistemi ve sınıflandırılması vardır (Günel ve Ilgın, 2014a; CTBUH, 2021; Sağlam, 2016). Yüksek binalar, taşıyıcı sistem ana malzemesi olan betonarme,

çelik ve kompozit olarak üçe ayrılarak, bu sistemler de ana taşıyıcı sistemlerinin yapısal formlarına ve bu sistemler için yapılabilecek kat adetlerine göre sınıflandırılmaktadır (CTBUH, 2021; Khan, 1969 ve 1973; Sağlam, 2016; Günel ve Ilgın, 2014a). Ahşap yüksek bina taşıyıcı sistemleri için ise kesin ve evrensel kabul görmüş bu tür bir sınıflandırma henüz bulunmamaktadır.
Tüm dünyada yaygın kullanıma sahip temel ahşap yüksek bina taşıyıcı sistemleri Şekil 3'te görülmektedir. Ahşap yüksek yapı taşıyıcı sistemleri hakkında özet bilgi aşağıdaki bölümde verilmiştir.



(a) (b) (c) (d)

Şekil 3: Ahşap Yüksek Yapılar İçin Temel Taşıyıcı Sistemler a) Çerçeve Sistem b) Çapraz Destekli Çerçeve Sistem c) Panel/Perde Sistemler d) Kompozit/Hibrid Sistemler (Abrahamsen R., Bjertnaes M. A., Boulillot J. vd. 2020)

2.2.1 Ahşap Çerçeve (Kolon-Kiriş) Sistemler

Ahşap çerçeve sistemlerde belirli aralıklarla düzenlenmiş düşey taşıyıcı kolonlar ve taşıyıcı kolonları birbirine bağlayan kirişler taşıyıcı sistemi oluşturmaktadır. Ahşap çerçeve sistem için yapısal dayanım kolon ve kirişlerin kesit boyutlarıyla orantılı, uzunluk ve aralıklarıyla ters orantılıdır. Etkin bir çerçeve davranışı elde etmek için sık aralıklarla yerleştirilmiş kolonlar ve bunları birbirine bağlayan yeterli yüksekliğe (rijitliğe) sahip kirişler gerekir (Resim 7). Ahşap çerçeve sistemlerde kolon ve kirişler glulam (GLT), LVL, PSL gibi endüstriyel ahşaptan yapılır. Glulam (GLT) elemanlar genellikle yangın güvenliği için ekstra koruma önlemleri gerektirmediği ve doğal ahşaba göre daha yüksek mukavemetli oldukları için ahşap çerçeve sistemini oluşturan kolon-kirişler için uygun endüstriyel ahşap bir malzemedir (Aydın, 2019; Şentürk, 2020). Ahşap çerçeve sistemlerde endüstriyel ahşap döşeme, betonarme-kompozit veya betonarme döşeme kullanılır. Özellikle depremselliği fazla olan bölgelerde deprem yükleri etkisinde sistemin sünek davranması gerekliliğinin getirdiği büyük yanal ötelenmeler sebebiyle taşıyıcı sistem elemanların birleşim detayları büyük önem taşır (Günel ve Ilgın, 2014). Diğer yapı malzemeleri ile inşa edilen çerçeve sistemlerde olduğu gibi ahşap çerçeve sistemin de en büyük sorunu, sistemde yatay yükler etkisinde meydana gelen yanal ötelenmelerin büyük olmasıdır. Ahşap yüksek yapılarda kat adedi arttıkça diğer yapı malzemelerinden inşa edilen yüksek yapılarda olduğu gibi, yanal ötelenmeleri sınırlandırmak için sistemde mekanik tesisat bacası, asansör, merdiven gibi düşey sirkülasyon elemanlarını barındıran betonarme çekirdek ve/veya çerçeve gözlerinde ahşap veya farklı malzemelerden yapılan çapraz (diyagonal) destek elemanlar kullanılması gerekebilir.



Resim 7: GLT Kolon-Kirişler ve NLT Döşemeli Ahşap Çerçeve Sistem Örneği (ReThinkMag, 2020)

2.2.2 Çapraz Destekli Ahşap Çerçeve Sistemler

Ahşap çerçeve sistemler yatay yüklere süneklilikleriyle enerji tüketerek karşı koyarken büyük yanal ötelenmeler gösterir. Bu durumda ahşap çerçeve sisteme çapraz destekler eklenerek binanın rijitliği arttırılabilir. Böylece yatay yüklere karşı oldukça etkili ve ekonomik bir taşıyıcı sistem elde edilmiş olur (Resim 8). Ahşap çerçeve sisteme eklenen çaprazlar tek veya çift olabilir. Yatay yüklerden kaynaklanan yatay yer değiştirmelerin kontrol edilmesi ve sınırlandırılması için sistemde kullanılan çaprazlar viskos sönümleyici olarak da düzenlenebilir. Sistemde kolon ve kirişler glulam (GLT), LVL, PSL gibi endüstriyel ahşap, çaprazlar ise genellikle endüstriyel ahşap bazen de çelik malzemeden yapılır. Yatay deprem ve rüzgar yükleri tersinir olduğu için, çapraz elemanlar çekme ve basınç kuvvetlerine maruz kalırlar. Sistemde kullanılan çaprazlar merkezi çapraz veya dış merkez çapraz olarak düzenlenir. X çaprazlar ve tek çaprazlar, K çaprazlara kıyasla mimaride engel oluşturur ve bulundukları açıklıkta görüş alanını azaltıp, kapı ve pencere yerleşimini zorlaştırır (Günel ve Ilgın, 2014a). Ahşap çerçeve sistemlerde endüstriyel ahşap döşeme, betonarme-ahşap kompozit ve/veya betonarme döşeme kullanılır. Çapraz destekli ahşap çerçevelerde, mekanik tesisat bacası, asansör, merdiven gibi düşey sirkülasyon elemanlarını barındıran ahşap panel, betonarme çekirdek veya çekirdekler kullanılabilir.



Resim 8: Çapraz Destekli Ahşap Çerçeve Sistem Örnekleri (Weyerhaeuser, 2020; Aumanufacturing, 2020)

2.2.3 Ahşap Panel Sistemler

Ahşap panel sistemlerde endüstriyel ahşaptan yapılmış paneller (perdeler), kolonlar olmaksızın yapıya etkiyen bütün yatay ve düşey yükleri karşılar. Ahşap panel sistemler, tabanda ankastre mesnetli düşey bir konsol gibi düşünülebilir. Ahşap binaların taşıyıcı panelleri, planda olabildiğince düzenli ve ana eksene göre simetrik veya simetriğe yakın biçimde yerleştirilmelidir. Tüm katlarda taşıyıcı paneller üst üste gelecek şekilde düzenlenmelidir (TBDY 2019).

Ahşap panel sistemlerde paneller, genellikle çapraz lamine ahşap (CLT)'den fabrika ya da atölyelerde üretilip (önüretimli), şantiyede yalnızca montaj işlemi yapıldığı için sistemin inşaat süresi kısadır. Taşıyıcı duvar panellerinde projesine uygun olarak kapı ve pencere boşlukları fabrika ya da atölyelerde üretim sırasında bırakılır. Ahşap panel sistemler ile istenilen büyüklük ve yükseklikteki binalar, statik hesap sonucu belirlenen kalınlıktaki endüstriyel ahşaptan yapılan duvar ve döşeme panelleri kullanılarak yapılabilir. Ahşap panel sistemlerde genellikle çapraz lamine ahşap (CLT) ve LVL, PSL, NSL endüstriyel ahşap döşeme, betonarme-ahşap kompozit ve/veya betonarme döşeme kullanılır.



Resim 9: Ahşap Panel Sistem Örnekleri (Nordic, 2020; Awc, 2020)

2.2.4 Ahşap Panelli Çerçeve Sistem

Ahşap yüksek yapılarda yatay yükler etkisinde oluşan yatay salınımları kontrol altına almak, binanın rijitliği arttırmak için ahşap çerçeve sistem ile ahşap panel sistem bir arada kullanılabilir (Resim 10). Bu durumda yatay ve düşey yüklere karşı oldukça etkili bir sistem elde edilmiş olur. Ahşap paneller, asansör ve merdiven kovalarını çevreleyen çekirdek de olabilir. Bu durumda taşıyıcı sisteme ahşap çekirdek panelli çerçeve sistem adı verilir. Sistemde bina içerisinde ahşap kolon ve kiriş elemanlar, ahşap panel (perde) duvarlar, ahşap panel çekirdek ve ahşap panel döşemeler bir arada kullanılabilir. Panellerin yeri ve şekli, yatay yükler altındaki yapı davranışını önemli ölçüde etkiler. Yatay kuvvetlerin bileşkesinin yapının rijitlik merkezine etkimesini sağlayacak şekilde düzenlenen panelli sistemler burulmaya maruz kalmaz (Günel ve Ilgın, 2014a). Taşıyıcı sistemde kolonlar ve kirişler glulam (GLT), LSL, PSL, ahşap paneller CLT başta olmak üzere glulam (GLT), NLT, DLT ve döşemeler CLT, betonarme-ahşap kompozit ve/veya betonarmeden yapılır (Şentürk, 2020).



Resim 10: Ahşap Panelli Çerçeve Sistem Örnekleri (Nordic, 2020; Skontoprefab, 2020)

2.2.5 Ahşap Kompozit Sistemler

Taşıyıcı sistem elemanlarının bir kısmı endüstriyel ahşap, bir kısmı betonarme, çelik ve/veya eleman bazında endüstriyel ahşabın, çelik ve betonarmeyle birlikte kullanılması ile oluşan ahşap kompozit yüksek binalar, çeliğin yüksek dayanımı, betonun yangın dayanımı ve rijitliği, ahşabın hafifliği gibi birden çok malzemenin üstünlüklerini birleştirir. Ahşap yüksek yapılarda dayanım/ağırlık oranı fazla, yapının toplam ağırlığı ve rijitliği az olduğu için rüzgar ve deprem etkisinde meydana gelen yanal ötelenmelerin kontrolü için sistemde betonarme perde çekirdek, betonarme-ahşap kompozit döşeme, çelik veya ahşap diyagonal çapraz destek kullanılması yaygındır. Ahşap kompozit yüksek binanın deprem performansını artırmak ve ahşabın yeraltı suyu ve nemden etkilenmesi engellemek için bodrum kat ve/veya zemin katın betonarme yapılması da yaygın uygulamadır. Ahşap kompozit sistemlerde taşıyıcı sistem elemanları binadan istenilen yapısal performansı sağlayacak şekilde farklı yapısal malzemelerden tasarlanabilir.
Ahşap kompozit sistemler ile yüksek bina tasarımı için önemli bir ölçüt olan yatay yüklerin oluşturduğu yatay salınım sorununun çözülebilmesi sayesinde bina yükseklikleri ve kat adedi artmaktadır. Çelik, betonarme, kompozit taşıyıcı sistemli yüksek binalarda kullanılabilen taşıyıcı sistemlerin, ahşap-kompozit sistemlerde de kullanılabilmesi yakın gelecekte daha yüksek ahşap binaların yapılmasının yolunu açmaktadır.



Resim 11: Endüstriyel Ahşap, Çelik ve Betonarmenin Kullanıldığı Ahşap Kompozit Yapı Örnekleri

(Finch, 2018)

2.3. Ahşap Yüksek Yapı Birleşimleri

Ahşap yüksek yapıyı oluşturan taşıyıcı sistem elemanları önceden fabrika ya da atölyelerde üretilip (önüretimli), şantiyede yerlerine yerleştirildikten sonra çeşitli birleşim araçları ile birbirine bağlanmaktadır. Ahşap yüksek yapılarda birleşimler, genellikle ahşap-ahşap, ahşap-betonarme, ahşap-çelik yapı elemanları arasında yapılmaktadır. Birleşim aracı olarak çiviler, vidalar, ahşap perçini, civata (bulon) vb. kullanılmaktadır. Birleşimler düşey yüklerle birlikte deprem, rüzgar gibi tekrarlı yatay yüklere maruz kalmakta, deprem ve kasırgalar sonucu ahşap yapılarda oluşan hasarların büyük çoğunluğu birleşim bölgelerinde meydana gelmektedir (Awc, 2020).
Vidalı ve çivili birleşimler yükleri aktarmada etkinlikleri ve imalatları kolay oldukları için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çivili birleşimlerde birleştirilen elemanların özelliklerine göre farklı formda çiviler kullanılmaktadır. Vidalar dişli yapıya sahip oldukları için mukavemetleri ve tutuş güçleri çivilere göre daha fazla olduğundan çekme kuvveti etkisinde çivi yerine tercih edilir. Vidali ve çivili birleşimler az katlı yapılarda ve yükün fazla olmadığı birleşimlerde kullanılmaktadır. Yapıştırmalı birleşimler sünekliği azalttığı için genellikle deprem ve rüzgar gibi tekrarlı yükler etkisinde kullanılmaz. Bulonlu birleşimler, hesap sonucu belirlenen bulon çapı ve sayısına göre ahşap yapı elemanlarında önceden açılan deliklere bulonların yerleştirilip, altına pul konulduktan sonra somunun sıkılmasıyla yapılır. Bulonlu birleşimler, birleştirilen parçalarda açılan delik çevresinde büyük gerilme yığılmaları oluşturduğu, ahşapta parçalanmaya veya gevrek kırılmaya neden olduğu için uygulamada çok büyük bulon çaplarının kullanılmasına izin verilmez. Bulonlu birleşimlerde çekme kuvvetini karşılayan bulon başları ve somunları için yeterince yer olmadığı durumlarda dört köşe başlı ağaç vidaları kullanılır. Dört köşe başlı ağaç vidalarında dişlerin olmadığı bölüm için bulonlarda olduğu gibi ahşap elemanlarda delikler açılır. Ahşap yapı birleşimlerinde yassılaştırılmış oval gövdeli kama biçimli kafaya sahip galvanizli yüksek mukavemetli çelik ahşap perçinleri de kullanılmaktadır. Ahşap perçinler çelik levhalarda ve ahşap elemanlarda önceden açılmış deliklerden geçerken konik kafa deliklere sıkıca tutunur. Ahşap yüksek yapılarda düşey ve yatay yüklerin bir taşıyıcıdan diğerine ve en sonunda temele aktarılması için birleşim noktalarında metal bağlantı elemanları kullanılmaktadır (Resim 12). Önceden hazırlanan metal bağlantı levhaları, her türlü ahşap yapıda ahşap-ahşap, ahşap-çelik, ahşap-betonarme elemanların birleştirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ahşap taşıyıcılar ile metal bağlantı levhalarının kullanıldığı birleşim tasarımında, nem ve kurumaya maruz kalan ahşap ve çelikte farklı boyut değişimleri gerçekleşebileceği göz önüne alınmalıdır. Çivi, vida, civata ve ahşap perçini gibi geleneksel bağlantı elemanları ve metal bağlantı levhaları kullanılarak oluşturulan birleşimlerin ahşap yüksek yapılarda kullanımı sınırlı olup, genellikle büyük boyutlu ve yüksek yapılarda projeye özel daha yenilikçi birleşimler kullanılmaktadır. Projeye özel birleşimler, belirli firmalar tarafından proje özelliklerine göre tasarlanmış, yapısal analizleri sonlu elemanlar metodu ile yapılmış ve yapısal güvenliği deneysel çalışmalarla denenmiş, patentli birleşimlerdir. Bu tür birleşimler, ahşap yüksek yapı birleşimleri için oluşturulmuş, birleştirdiği parçaların mukavemetini azaltmayan, genellikle ahşap içine yeterince gizlenerek yangına karşı dayanıklı birleşimlerdir (Awc, 2020).



Resim 12: Ahşap Yüksek Yapılarda Kullanılan Birleşim Örnekleri (Awc, 2020)

2.4. Ahşap Yapıların Yangın Dayanımı

Binalarda taşıyıcı sistem malzemesi olarak ahşap kullanılması düşünüldüğünde akla ilk gelen herhangi bir yangına maruz kaldığında davranışının nasıl olacağıdır. Endüstriyel ahşap ürünlerin ateşe verilmesi zordur ve yapı standartlarında verilen ölçülerde tasarlandığında yangına karşı dayanıklıdır. Bir yangın durumunda ahşap

malzemenin dış kısımları yanarak kömürleşir, yanarak kömürleşmiş kısımların yanma için gerekli olan oksijenin iç kısma geçişini engellemesi yangının büyümesini önlemektedir. Kömürleşmiş tabakalar yapısal kapasitelerini kaybederler ancak düşük ısı iletim katsayısı nedeniyle ahşabın geri kalanını yangının ısısından ve ateşten korurlar (Resim 13). İletkenliğin yanı sıra ahşabın yanmasını etkileyen başlıca faktörler şunlardır: cinsi (içinde bulunan reçineler ve yanıcı yağlar nedeniyle yumuşak ağaç daha kolay yanar), yoğunluğu (hafif ahşaplar daha gözeneklidir ve dolayısıyla daha hızlı yanar), boyutları (daha büyük ahşap parçaları) parlama noktalarını geciktiren ısıtmak için daha fazla hacme sahiptir, şekli (eğimli yüzeyler tutuşmayı kolaylaştırır) ve nem içeriği (ne kadar yüksekse o kadar yavaş yanar). Yangına maruz kalan yüzeylerin kömürleşme hızı, ahşap türlerine göre değişiklik gösterse de 0,55 ile 0,80 mm/dk arasındadır. Bu hız, yangın sırasında yapının çökmesini önlemek için ne kadar ekstra malzeme gerektiğini hesaplamak için kullanılır (Orta vd., 2020). Ahşap malzemenin tutuşmasının geç olması, yangın esnasında taşıyıcı elemanların en kesitlerinin dış katmanları kömürleşirken orta kısmında taşıyıcı katmanların yangından etkilenmeden kalması sebebiyle binanın hızlı bir şekilde çökmesi engellemektedir (Aydın, 2019). Avrupa ve Kanada'da çapraz lamine ahşap (CLT) için çeşitli yangın deneyleri yapılmış, yapılan deneylerde tam yükle yüklü ahşap duvar (panel) ve döşeme panellerinin 3 saat yangına dayanabildiği görülmüştür (Barber, 2015). Ahşap yapı elemanlarının yangına dayanıklılığını iyileştirmenin ana stratejisi, gerekli ekstra süreye göre kesit boyutlarını arttırmak veya yapının alçı gibi diğer yangın geciktirici malzemelerle kaplanmasıdır. Bir yangın esnasında ahşap yüksek yapıların en zayıf noktaları birleşimlerdir. Birleşimlerin kömürleşme derinlikleri birleşim tasarımından dolayı veya ısıyı birleşiminin çekirdeğine ileten çelik birleşimlerin kullanılmasından dolayı daha derindir. Bu nedenle çelik birleşim elemanların ahşabın içine gizlenmeli ve onunla korunmalıdır. (Orta vd., 2020). Çeşitli yönetmeliklerde ahşap yüksek yapılarda kullanılacak endüstriyel ahşap elemanların ve birleşimlerinin yangına karşı dayanıklılık gereklilikleri verilmektedir (IBC, 2021). Ahşap yüksek yapılarda yangından korunma için pasif ve aktif korunma stratejileri kullanılmaktadır. Ahşap yüksek yapının zemin kat, asansör ve merdiven çekirdeklerinde yanmaz malzeme kullanılması, yapının iç kısmındaki duvar, döşeme vb. taşıyıcı elemanlarının tamamının açıkta kalmaması ve açıkta kalan elemanların X tipi alçı levha ile kaplanması, yapı elemanlarının yönetmeliklerde verilen yangına dayanıklılık derecesi sürelerini sağlaması, döşemelerin ve düşey taşıyıcıların birbirinden yanmaz ayırıcı elemanlarla ayrılması, birleşimlerin endüstriyel ahşaba gömülmesi, endüstriyel ahşabın içine gömülemeyen birleşimlerin ahşap veya alçı levhalar ile kaplanması vb. uygulanan pasif yangından korunma stratejileridir. Ahşap yapının tüm katlarında yangın sprinkleri kurulması, sesli ve görsel yangın sinyal sistemi, adreslenebilir yangın alarm sistemi, yangın söndürme tesisatı, yangın tesisatı için yedek yangın suyu deposu vb. uygulanan aktif yangından korunma stratejileridir (McLain, 2020).



(a) (b)

Resim 13: a) Kısmen Kömürleşmiş Glulam (GLT) ve 2 Saatlik Yangın Deneyi Sonucu Glulam (GLT) Kolon (Barber, 2015)
b) 1906 San Francisso Depremi Sırasında Eriyip Taşıma Gücünü Yitirmiş İki Çelik Kirişi Taşıyan Ahşap Kiriş (Bowyer vd., 2016)

2.5 Ahşap Yüksek Yapı Örnekleri

Dünyanın birçok yerinde taşıyıcı sistemi endüstriyel ahşap veya ahşap kompozit olan yüksek yapılar karşımıza çıkarken, Türkiye'de taşıyıcı sistemi endüstriyel ahşap veya ahşap kompozit olan yüksek yapı bulunmamaktadır. Türkiye'nin büyük şehirlerinin tamamında hatta diğer şehirlerinde de yüksek yapı bulunmasına rağmen, yüksek yapı tasarımı ile ilgili kural ve esaslar ilk defa 2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2019) bir bölüm halinde verilmiştir. TBDY 2019'da yüksek yapıların taşıyıcı sistemlerinin betonarme ve çelik taşıyıcı sistemlerinden oluşacağı belirtilmekte olup, ahşap

taşıyıcı sistemli yüksek yapılara izin verilmemektedir. Benzer şekilde ahşap bina taşıyıcı sistemlerinin tasarımı ile ilgili kural ve esaslar ilk defa TBDY 2019'da bir bölüm olarak verilmiştir. TBDY 2019'da deprem tasarım sınıfına (DTS) bağlı olarak ahşap yapılar için en fazla 17,50 m bina yüksekliğe izin verilmektedir. Aşağıda kat adedi 7 ve daha fazla olan, yapımı tamamlanmış ahşap yüksek yapı örnekleri hakkında kısa bilgi verilmiş, verilen bilgilerin daha kolay anlaşılabilmesi için Tablo 1'de özetlenmiştir.

Whitmore Road

Ahşap taşıyıcı sisteme sahip Whitmore Road binasının inşaatı 26 ay (ahşap kısmı 5 ay) sürmüş 2012 yılında tamamlanmıştır. İngiltere'nin Londra şehrinde bulunan bina 20.50 m yüksekliğinde 7 katlı 1022 m^2 alana sahip karma fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli ve zemin katı betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar panelleri ve döşeme panelleri çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Whitmore Road binasında vidalı çelik levhalı birleşim sistemi kullanılmıştır (Şentürk, 2020; Waughthistleton, 2021).

E3 Berlin

Ahşap, betonarme ve çelik malzemeli kompozit taşıyıcı sisteme sahip E3 Berlin binasının inşaatı 9 ay sürmüş, 2008 yılında tamamlanmıştır. Almanya'nın Berlin kentinde bulunan bina, 22.50 m yüksekliğinde 7 katlı 987 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli, zemin katı ile merdiven ve asansörlerin bulunduğu çekirdek bölümü betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi çerçeve sistem olan binada, kolon ve kirişler glulam (GLT), taşıyıcı paneller çapraz lamine ahşap (CLT), döşemeler ahşap betonarme kompozit olup, çelik çaprazlar yardımıyla binanın yatay rijitliği arttırılmıştır. E3 Berlin'de bulonlu ve çivili geçmeli çelik birleşimler kullanılmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020, Designbuild, 2021).

Wagramerstrasse

Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Wagramerstrasse binasının inşaatı 24 ay (ahşap kısmı 5 ay) sürmüş, 2013 yılında tamamlanmıştır. Avusturya'nın Viyana şehrinde bulunan bina, 22.50 m yüksekliğinde 7 katlı 9240 m^2 alana sahip tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli, zemin katı ve çekirdeği betonarmedir. Ahşap kısmının taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar panelleri çapraz lamine ahşap (CLT), döşemeler ahşap kompozit betonarmedir. Wagramerstrasse binasında vidalı ve bulonlu çelik levhalı birleşim sistemi kullanılmıştır (Şentürk, 2020; Binderholz, 2021).

Kingsgate House

Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Kingsgate House binasının inşaatı 18 ay (ahşap kısmı 3 ay) sürmüş, 2014 yılında tamamlanmıştır. İngiltere'nin Londra şehrinde bulunan bina, 23.00 m yüksekliğinde 7 katlı 4350 m^2 alana sahip tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli ve zemin katı betonarmedir. Ahşap kısmının taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar panelleri çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Binanın zemin katı ve birinci katında döşemeler betonarme, diğer katlardaki döşemeler çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Kingsgate House binasında bulonlu çelik levhalı ve çelik geçmeli birleşimler kullanılmıştır (Şentürk, 2020).

T3

Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip T3 binasının ahşap kısmının inşaatı 9.5 hafta sürmüş, 2016 yılında tamamlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Minneapolis'te bulunan bina 25.90 m yüksekliğinde 7 katlı 20500 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli, bodrum katı ile merdiven evi ve asansör kovası betonarmedir. Ahşap kısmının taşıyıcı sistemi çerçeve sistem olan binada, kolon ve kirişler glulam (GLT), döşemeler çivili lamine ahşap (NLT) paneldir. T3 binasında vidalı, çivili ve bulonlu çelik levhalı birleşimler kullanılmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020; CTBUH, 2021; T3, 2021).

Limnologen

Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Limnologen binasının inşaatı 17 ay (ahşap kısmı 3 ay) sürmüş, 2009 yılında tamamlanmıştır. İsveç'in Växjö şehrinde bulunan bina 23.77 m yüksekliğinde 8 katlı 10700 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temel, zemin katı betonarme ve üst katlardaki döşemeleri ahşap betonarme kompozittir. Ahşap kısmın taşıyıcı sitemi panel sistem olan binada, taşıyıcı panel duvarlar çapraz lamine ahşap (CLT), ahşap panel döşemeler CLT ve GLT'dir. Limnologen binasında çelik vidalı birleşim kullanılmıştır (Şentürk, 2020; Forum Holzbau, 2021).

Holz8
Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Holz 8 binasının inşaatı 2 ay (ahşap kısmı 2.5 hafta) sürmüş, 2011 yılında tamamlanmıştır. Almanya Bad Aibling'de bulunan bina 25.00 m yüksekliğinde 8 katlı 1740 m^2 alana sahip, ahşap karma fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli, daire giriş koridorları, merdiven ve asansörün bulunduğu çekirdek betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı paneller masif ahşap ve çapraz lamine ahşap (CLT), döşemeler çapraz lamine ahşap (CLT) paneldir. Holz 8 binasında vidalı çelik plakalı birleşim kullanılmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020).

Bridport House
Ahşap taşıyıcı sisteme sahip Bridport House binasının inşaatı 16 ay (ahşap kısmı 3 ay) sürmüş, 2011 yılında tamamlanmıştır. İngiltere'nin Londra şehrinde bulunan bina 25.60 m yüksekliğinde 8 katlı 4020 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Ahşap kısmının taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar panelleri ve döşeme panelleri çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Bridport House binasında vidalı çelik levhalı birleşim sistemi kullanılmıştır (Şentürk, 2020).

Carbon12
Ahşap, betonarme ve çelik kompozit taşıyıcı sisteme sahip Carbon12 binasının inşaatı 16 ay (ahşap kısmı 2 ay) sürmüş, 2018 yılında tamamlanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Portland Oregon'da bulunan bina 25.90 m yüksekliğinde 8 katlı 3902 m^2 alana sahip, karma fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli çelik kazıklı betonarme yayılı temeldir. Ahşap kısmının taşıyıcı sistemi çerçeve sistemi olan binada, kolon ve kirişler glulam (GLT), döşemeler çapraz lamine ahşap (CLT) paneldir. Binanın yatay rijitliğini arttırmak ve çekirdeği oluşturmak için çerçeve aralarında çelik çaprazlar düzenlenmiştir. Carbon12 binasında bulonlu geçmeli çelik birleşimler kullanılmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020; CTBUH, 2021; Carbon12; 2021).

Puukuokka
Ahşap taşıyıcı sisteme sahip Puukuokka binasının inşaatı 14 ay (ahşap kısmı 6 ay) sürmüş, 2015 yılında tamamlanmıştır. Finlandiya Kuakkala'da bulunan bina 26.50 m yüksek yüksekliğinde 8 katlı 18650 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yapıdır. Binanın temeli ve bodrum katı betonarmedir. Ahşap kısmının taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar panelleri ve döşemeler çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Puukuokka binasında çelik vidalı birleşim kullanılmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020).

Life Cycle Tower One (LTC One)
Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Life Cycle Tower One (LTC One) binasının inşaatı 9 ay (ahşap kısmı 3 hafta) sürmüş, 2012 yılında tamamlanmıştır. Avusturya Dornbirn'de bulunan bina 27.00 m yüksekliğinde 8 katlı 1765 m^2 toplam alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli, merdiven evi ve asansör kovası betonarmedir. Ahşap taşıyıcı sistemi, çerçeve sistem olan binada kolon ve kirişler glulam (GLT), döşemeler ahşap betonarme kompozittir. LTC One binasında bulonlu çelik geçmeli birleşimler kullanılmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020; CTBUH, 2021).

Cenni di Cambiamento
Ahşap taşıyıcı sisteme sahip Cenni di Cambiamento binasının inşaatı 18 ay sürmüş 2013 yılında tamamlanmıştır. İtalya'nın Milano kentinde bulunan bina 28.16 m yüksekliğinde 9 katlı 30284 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli ve bodrum katı betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar panelleri ve döşeme panelleri çapraz lamine ahşap CLT)'dir. Cenni di Cambiamento binasında çelik vidalı birleşim kullanılmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020).

Stadthaus
Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Stadthaus binasının inşaatı 49 hafta (ahşap kısmı 27 gün) sürmüş 2009 yılında tamamlanmıştır. İngiltere'nin Londra şehrinde bulunan bina 29.00 m yüksekliğinde 9 katlı 2890 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli ve bodrum katı betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar ve döşeme panelleri çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Stadthaus binasında vidalı çelik L plakalı birleşimler kullanılmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020; CTBUH, 2021).

Forte

Ahşap betonarme ve çelik kompozit taşıyıcı sisteme sahip Forte binasının inşaatı 10 ay (ahşap kısmı 3 ay) sürmüş, 2012 yılında tamamlanmıştır. Avusturalya'nın Melbourne şehrinde bulunan bina 32.20 m yüksekliğinde 10 katlı 2550 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli ve zemin katı betonarme olup, ıslak hacimler çelik hücre sistem olarak tasarlanmıştır. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar ve döşeme panelleri çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Forte binasında vidalı çelik L profil ve L plakalı birleşimler kullanılmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020; CTBUH, 2021).

Wenlock Cross Roads

Ahşap betonarme çelik kompozit taşıyıcı sisteme sahip Wenlock Cross Roads binasının inşaatı 22 ay (ahşap kısmı 7.5 ay) sürmüş, 2015 yılında tamamlanmıştır. İngiltere'nin Londra şehrinde bulunan bina 33.50 m yüksekliğinde 10 katlı 5840 m^2 alana sahip, karma fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Wenlock Cross Roads binasının temeli ve çekirdeği betonarme, kolon ve kirişleri çelik, duvar ve döşemeleri ahşaptır. Ahşap kımın taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar panelleri ve döşeme panelleri çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Wenlock Cross Roads binasında bulonlu çelik levhalı birleşim kullanılmıştır (Şentürk, 2020).

Dalston Lane

Ahşap taşıyıcı sisteme sahip Dalston Lane binasının inşaatı 29 ay (ahşap kısmı 12 ay) sürmüş, 2017 yılında tamamlanmıştır. İngiltere'nin Londra şehrinde bulunan bina 33.80 m yüksekliğinde 10 katlı 16000 m^2 alana sahip karma fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli ve zemin katı betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar panelleri ve döşeme panelleri çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Dalston Lane binasında vidalı, bulonlu çelik levhalı birleşimler kullanılmıştır (Şentürk, 2020; CTBUH, 2021).

Suurstoffi 22

Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Suurstoffi 22 binasının inşaatı 22 ay (ahşap kısmı 5 ay) sürmüş, 2018 yılında tamamlanmıştır. İsviçre'nin Zug Kantonu'ndaki Risch'te bulunan bina 36.00 m yüksekliğinde 10 katlı 17900 m^2 alan sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Suurstoffi 22 binasının temeli, merdiven ve asansörlerin bulunduğu çekirdekleri betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi çerçeve olan binada, kolonlar glulam (GLT), kirişler glulam (GLT) ve lamine kaplama ahşap (LVL), döşemeler ahşap betonarme kompozittir. Suurstoffi 22 binasında bulonlu çelik geçmeli birleşim kullanılmıştır (Şentürk, 2020; CTBUH, 2021).

Origine

Ahşap taşıyıcı sisteme sahip Origine binasının inşaatı 16 ay sürmüş (ahşap kısmı 4 ay) sürmüş, 2017 yılında tamamlanmıştır. Kanada'nın Quebec şehrinde bulunan bina 40.90 m yüksekliğinde 13 katlı 10390 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli ve zemin katı betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi panelli çerçeve sistem olan binada, taşıyıcı duvar panelleri ve döşeme panelleri çapraz lamine ahşap (CLT), kolonlar ve kirişler glulam (GLT)'dir. Origine binasında vidalı ve bulonlu çelik levhalı geçmeli birleşimler kullanılmıştır (Şentürk, 2020; CTBUH, 2021).

Lighthouse

Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Lighthouse binasının inşaatı 20 ay (ahşap kısmın 8 ay) sürmüş, 2019 yılında tamamlanmıştır. Finlandiya'nın Joensuu şehrinde bulunan bina 48.00 m yüksekliğinde 14 katlı 4800 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli ve zemin katı betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi panel olan binada, taşıyıcı duvar panelleri lamine kaplama ahşap (LVL), döşeme panelleri ve çekirdeği oluşturan duvar panelleri çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Light House binasında vidalı ve bulonlu çelik levhalı birleşimler kullanılmıştır (Şentürk, 2020).

Treet

Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Treet binasının inşaatı 20 ay sürmüş, 2015 yılında tamamlanmıştır. Norveç'in Bergen şehrinde bulunan bina 49.00 m yüksekliğinde 14 katlı 5830 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli, bodrum katı ve ara kat döşemeleri betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi, ahşap karma sistem olan binada kolon, kiriş ve çapraz elemanlar glulam (GLT), taşıyıcı duvar panelleri çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Treet binasında vidalı geçmeli çelik birleşimler kullanılmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020; CTBUH, 2021; Treet, 2021).

Brock Commons

Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Borrock Commons binasının inşaatı 18 ay sürmüş, 2017 yılında tamamlanmıştır. Kanada'nın Vancouver şehrinde bulunan bina 53.00 m yüksekliğinde 18 katlı 15120 m^2 alana sahip, tek fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli, zemin katı ile merdiven ve asansörlerin bulunduğu çekirdek betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi çerçeve sistem olan binada, çerçeve taşıyıcı sistem elemanları glulam (GLT), döşeme panelleri çapraz lamine ahşap (CLT)'dir. Brock Commons binasında bulonlu çelik geçmeli birleşim sistemi uygulanmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020; CTBUH, 2021).

Hoho Wien

Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Hoho Wien binasının inşaatı 24 ay sürmüş, 2019 yılında tamamlanmıştır. Avusturya'nın Viyana şehrinde bulunan bina 84.00 m yüksekliğinde 24 katlı 25000 m^2 alana sahip, karma fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli, merdiven ve asansörlerin bulunduğu çekirdek betonarmedir. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi panel sistem olan binada, taşıyıcı duvar paneller çapraz lamine ahşap (CLT), döşemeler ahşap kompozittir. Hoho Wien binasında çelik rot ve boru geçmeli birleşim sistemi uygulanmıştır (Aydın, 2019; CTBUH, 2021).

Mjostarnet

Ahşap betonarme kompozit taşıyıcı sisteme sahip Mjostarnet binasının inşaatı 23 ay (ahşap kısmı 9 ay) sürmüş, 2019 yılında tamamlanmıştır. Norveç Brumunddal'da bulunan bina CTBUH'a göre dünyanın en yüksek ahşap binasıdır. Mjostarnet binası 85.40 m yüksekliğinde 18 katlı 11300 m^2 alana sahip, karma fonksiyonlu ahşap yüksek yapıdır. Binanın temeli ve belli katlardaki döşemeler betonarmedir. Mjostarnet binasının yatay rijitliğini arttırmak için döşemeler, belirli bir kata kadar ahşap, belirli bir kattan sonra betonarme olarak tasarlanmıştır. Ahşap kısmın taşıyıcı sistemi çaprazlarla desteklenmiş çerçeveli panel sistem olan binada kolonlar, kirişler ve çapraz elemanlar glulam (GLT), taşıyıcı duvar panelleri çapraz lamine ahşap (CLT), ahşap panel döşemeler lamine kaplama ahşap (LVL)'dir. Mjostarnet binasında çelik geçmeli birleşim sistemi uygulanmıştır (Aydın, 2019; Şentürk, 2020; CTBUH, 2021).

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Ahşap yüksek yapılar ve taşıyıcı sistemlerinin incelendiği çalışmada, Türkiye'de taşıyıcı sistem malzemesi endüstriyel ahşap veya ahşap kompozit olan yüksek yapı bulunmadığı, Türkiye dışındaki ülkelerde yüksek yapılarda endüstriyel ahşap yapı malzemesinin kullanıldığı ve kullanımının her geçen gün artarak devam ettiği görülmüştür.

Doğal ahşapta görülen birçok sorunun endüstriyel ahşap ürünlerle çözülmesiyle birlikte, yüksek yapılarda taşıyıcı sistem malzemesi olarak endüstriyel ahşabın kullanıldığı, özellikle çapraz lamine ahşap (CLT) ve tutkallı tabakalı ahşabın (glulam/GLT) yaygın kullanıma sahip olduğu görülmüştür. Taşıyıcı sistemde yalnız endüstriyel ahşap ürünlerin kullanıldığı yüksek yapıların yanında, bina kat adedi ve yüksekliğindeki artış ile birlikte etkinliği artan yatay yüklerin karşılanarak yatay ötelenmelerin sınırlandırılması için endüstriyel ahşap ile betonarme, çelik malzemesinin birlikte kullanıldığı kompozit yapıların yaygın olarak uygulandığı görülmüştür.

Yapılan çalışma sonucunda ahşap yüksek yapılarda yatay yük etkilerini karşılamak amacıyla bir veya daha fazla betonarme çekirdek düzenlendiği, bina katlarında rijit diyafram davranışı elde edebilmek için betonarme veya betonarme kompozit döşemelerin kullanıldığı, binanın yatay rijitliğini arttırmak için endüstriyel ahşap veya çelik malzemeden yapılmış çapraz elemanlar tasarlandığı, binanın her iki yönünde simetrik veya simetriğe yakın endüstriyel ahşap taşıyıcı duvar panelleri düzenlendiği gözlenmiştir.

Yenilenebilir, daha az karbon ayak izine sahip, üretimde daha az enerji gerektiren ve çevreye daha az zarar veren endüstriyel ahşap malzemenin Türkiye'de de yüksek yapı üretiminde kullanılması için tasarımcı mimar, mühendis ve kullanıcılarda ahşap malzemenin yapı malzemesi olarak uygun bir malzeme olmadığı önyargısının kaldırılması gerekmektedir. Bu amaçla endüstriyel ahşap ürünlerin yüksek yapılarda güvenle kullanılabileceği ile ilgili araştırmaların ve meslek için eğitimlerin arttırılmasıyla bu konuda bir farkındalık yaratılması ve Türkiye'de mevcut yapı yönetmeliklerine ahşap yüksek yapılar, tasarım kuralları ve uygulama detaylarının eklenmesi gerekmektedir.

Tablo 1: Ahşap Yüksek Yapı Örneklerinin Taşıyıcı Sistemleri ve Malzemeleri

Yapı Bilgileri							Taşıyıcı Sistem			Taşıyıcı Sistem Malzemesi				
Yapı Adı	Yeri	Yapım Yılı	Fonksiyonu	Kat Adedi	Yapı Yüksekliği (m)	Yapı Alanı (m^2)	Yapı Taşıyıcı Sistemi	Ahşap Taşıyıcı Sistemi	Döşeme Sistemi	Panel	Kolon	Kiriş	Döşeme	Çekirdek
Whitmore Road	İngiltere	2012	Karma	7	20.50	1022	Ahşap	Panel	Panel	CLT	-	-	CLT	CLT
E3 Berlin	Almanya	2008	Konut	7	22.00	987	Kompozit	Çerçeve	Kompozit	CLT	GLT, Çelik	GLT	TCC	*B.arme
Wagramerstrasse	Avusturya	2013	Konut	7	22.50	9240	Kompozit	Panel	Kompozit	CLT	-	-	TCC	B.arme
Kingsgate House	İngiltere	2014	Konut	7	23.00	4350	Kompozit	Panel	Panel	CLT	-	-	CLT	CLT, B.arme
T3	Amerika	2016	Ofis	7	25.90	20500	Kompozit	Çerçeve	Panel	-	GLT	GLT	NLT	B.arme
Limnologen	İsveç	2009	Konut	8	23.77	10700	Kompozit	Panel	Panel	CLT	-	-	CLT, B.arme	CLT
Holz8	Almanya	2011	Karma	8	25.00	1740	Kompozit	Panel	Panel	CLT	-	-	CLT	B.arme
Bridport House	İngiltere	2011	Konut	8	25.60	4020	Ahşap	Panel	Panel	CLT	-	-	CLT	-
Carbon 12	Amerika	2018	Konut	8	25.90	3902	Kompozit	Çerçeve	Panel	-	GLT	GLT	CLT	Çelik
Puukuokka	Finlandiya	2015	Konut	8	26.00	5334	Ahşap	Panel	Panel	CLT	-	-	CLT	CLT
LCT One	Avustralya	2012	Ofis	8	27.00	1765	Kompozit	Çerçeve	Kompozit		GLT	GLT B.arme	TCC	B.arme
Cenni di Cambiamento	İtalya	2013	Karma	9	28.16	30284	Ahşap	Panel	Panel	CLT	-	-	CLT	CLT
Stadthaus	İngiltere	2009	Konut	9	29.00	2890	Kompozit	Panel	Panel	CLT	-	-	CLT	CLT
Forte	Avustralya	2012	Karma	10	32.20	2890	Kompozit	Panel	Panel	CLT	-	-	CLT	CLT
Wenlock Cross Roads	İngiltere	2015	Karma	10	33.50	5840	Kompozit	Panel	Panel	-	Çelik	Çelik	CLT	B.arme
Dalston Lane	İngiltere	2017	Karma	10	33.80	16000	Ahşap	Panel	Panel	CLT	-	-	CLT	CLT
Suurstoffi 22	İsviçre	2018	Ofis	10	36.00	17900	Kompozit	Çerçeve	Kompozit	-	GLT, LVL	GLT	TCC	B.arme
Origine	Kanada	2017	Konut	13	40.90	10390	Ahşap	Panel Çerçeve	Panel	CLT	GLT	GLT	CLT	CLT
Light House	Finlandiya	2019	Konut	14	48.00	4800	Kompozit	Panel	Panel	LVL	-	-	CLT	CLT
Treet	Norveç	2015	Konut	14	49.00	7140	Kompozit	Panel	Karma	CLT	GLT	GLT	GLT, B.arme	B.arme
Brock Commons	Kanada	2017	Konut	18	53.00	15120	Kompozit	Çerçeve	Panel	-	GLT, PSL	GLT	CLT	B.arme
Hoho Wien	Avusturya	2019	Karma	24	84.00	25000	Kompozit	Panel	Kompozit	CLT	-	-	CLT, B.arme	B.arme
Mjostarnet	Norveç	2019	Karma	18	85,40	11300	Kompozit	Çapraz Destekli Çerçeve	Karma	-	CLT	CLT	LVL, B.arme	CLT

*B.arme: Betonarme

Kaynaklar

Abrahamsen R., Bjertnaes M. A., Boulillot J., Brank B., Cabaton L. Et al. (2020). Dynamic Response of Tall Timber Buildings Under Service Load: TheDynaTTB Research Program, In:M.Papadrakakis, M. Fragaidakis C. Papadimitriou (ed.), Eurodyn 2020, *XI International Conference on Structural Dynamics*: Proceedings, Vol. II (pp.4900-4910). National Technical University of Athens

Aumanufacturing (30.11.2020). Erişim adresi: https://www.aumanufacturing.com.au/high-rise-buildings-prefabricated-from-wood-factory-made-plyscrapers

Avlar E. ve Ustaoğlu S. S. (2017). 2000'li yılların başında endüstriyel ahşap ürünlerle gelişmiş yapı üretimi, *Mimarlık Dergisi, 393*, ss.75-80

Awc (30.12.2020). American Wood Council, Erişim adresi: https://www.awc.org/pdf/education/des/ReThinkMag-DES315A1-ConnectionOptionsForWoodFrameBuildings-1604.pdf

Aydın H. (2019). *Çok katlı ahşap yapılarda strüktürel kurgunun analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Trabzon

Barber D. (2015). Tall timber buildings: what's new in fire safety?, *Fire Technology*, *51*, 1274-1284, USA, DOI: 10.1007/s10694-015-0497-7

Bimobject (30.12.2020). Erişim adresi: https://www.bimobject.com/tr/boisecascade/product/boise08

Binderholz (25.06.2021). Erişim adresi: https://www.binderholz.com/bauloesungen/wohnbau-wagramer-strasse-wien-oesterreich/

Bowyer, J., Bratkovich, S., Howe, J., Fernholz, K., Frank, M., Hanessian, S. & Pepke, E. (2016). Modern tall wood buildings: Opportunities for Innovation. *Minneapolis: Dovetail Partners. Inc*.

Carbon12: Leading Movement to Build with Cross-Laminated Timber. (24.06.2021), Erişim Adresi https://buildingcarbon12.com/

Celep Z. ve Özuygur A. R., 2017, Yüksek binaların yapısal tasarımı, *IMO Bursa Bülten TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Yayın Organı, Sayı: 70*, s:8-12

CTBUH, Council on Tall Buildings and Urban Habitat (2021), Illinois Institute of Technology, S.R. Crown Hall, 3360 South State Street, Chicago, Illinois, USA, www.ctbuh.org, erişim tarihi: 25.04.2021

Çağlayan E. S. (2020). *Ahşap yapılar ve Türkiye'de inşaat mühendislerinin ağaç işleri endüstri mühendislerinin çok katlı ahşap yapılara yönelik görüşleri*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Ağaçişleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara

Designbuild (25.06.2021). Erişim adresi: https://www.designbuild-network.com/projects/e3-leaf/

Finch G. (2018) Mass Timber & Tall Wood Buildings, *XXII Westford Symposium*-Summer Camp, USA.

Follesa M., Fragiacomo M., Casagrande D., Tomasi R., Piazza M., Vassallo D., Canetti D., 2018, The new provisions for seismic design of timber buildings in Europe, *Engineering Structures*, *168*, Elsevier, 736-747, https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.04.090

Forum Holzbau (25.05.2021). Erişim adresi: https://www.forum-holzbau.com/pdf/ihf09_Serrano.pdf

Foster R. M., Reynolds T. P. S., Ramage M. H. (2018). What is Tall Timber? Towards the Formal Classification of Timber as a Material of Tall Building Design, *2018 World Conference on Timber Engineering (WCTE 2018)*, Republic of Korea

Günel M. H. ve Ilgın H. E. (2014a). *Yüksek Binalar: Taşıyıcı Sistem ve Aerodinamik Form*, ODTÜ Mimarlık Fakültesi, Ankara, ISBN: 978-975-429-278-7

Günel M. H. ve Ilgın H. E. (2014b). *Tall Buildings: Structral Systems and Aerodynamic Form*, Routledge Taylor and Francis Group, London and New York, ISBN: 978-1-138-02177-8 (hbk), ISBN: 978-1-315-77652-1 (ebk)

Güzel N. ve Yesügey S. C. (2015). Çapraz lamine ahşap (CLT) malzeme ile çok katlı ahşap yapılar, *Mimarlık Dergisi, Sayı: 382*, Mart-Nisan 2015

Halıcıoğlu F. H. ve Yürekli B. (2016). Ahşap-beton kompozit döşemelerin binalarda ve köprülerde kullanımı üzerine bir inceleme, *NWSA Engineering Sciences*,11(4) 109-124, https://dx.doi.org/10.1278/NWSA.2016.11.4.1A0368

HoHo Wien (30.12.2020), Erişim adresi: http://www.hoho-wien.at/getattachment/350c225d-e804-400f-aa88-12b75d6e7e41/timber-sky scrapers-infographic-web. jpg

IBC 2021 (2021) *International Building Code 2021*. International Code Council (ICC), https://shop.iccsafe.org/codes/2021-international-codes-and-references.html, erişim tarihi: 30.12.2020

İlerisoy Z. Y. ve Başgül M. (2019). Yapılarda yükselme ve başkent Ankara örnekleri üzerinden tarihsel incelenmesi, *Online Journal of Art and Design, Sayı:7*, Cilt: 2, ss:125-140

Jorissen A. J. M., Leijten A. J. M. (2008). Tall timber buildings in the Netherlands, St*ructural Engineering International, 18:2*, 133-136, DOI: 10.2749/101686608784218671

Khan F. R. (1969). Recent Structural Systems in Steel for High-Rise Buildings, *In Proceedings of the British Constructional Steelwork Association Conference on Steel in Architecture*, London: British Constructional Steelwork Association

Khan F.R. (1973). Evolution of Structural Systems for High-Rise Buildings in Steel and Concrete, In J. Kozak (Ed), *Tall Buildings in Middle and East Europe: Proceedings of the 10. Regional Conference on Tall Buildigs-Planning*, Design and Construction

Kuzmanovska I., Gasparri E., Monne D. T., Aitchison M. (2018). Tall Timber Buildings: Emerging Trends and Typologies, *2018 World Confrence on Timber Engineering (WCTE 2018)*, Republic of Korea

McLain R. (2020). Tall Timber Buildings, Structural Systems, https://www.structuremag.org/?p=16435, erişim tarihi: 30.12.2020

MET (2018). Design for Manufacturing and Assmbly (DfMA) Mass Engineered Timber https://www1.bca.gov.sg/buildsg/productivity/design-for-manufacturing-and-assembly-dfma/mass-engineered-timber

Naturallywood (30.12.2020). Erişim adresi: https://www.naturallywood.com/products/dowel-laminated-timber/

Nordic (30.12.2020). Erişim adresi: https://www.nordic.ca/en/projects/structures/origine

Orta B., Martinez-Gaya J.E., Cervera J., Aira J. R. (2020). Timber high rise, state of the art, *Informes de la Construccion, Volume 72*, 558, ISSN-L:0020-0883, DOI: 10.3989/ic.71578

Ramage M., Foster R., Smith S., Flanagan K., Bakker R. (2017), Super tall timber: design research for the next generation of natural structure, *The Journal of Architecture, 22:1*, 104-122, DOI: 10.1080/13602365. 2016.1276094

ReThinkMag (30.12.2020). Erişim adresi: https://www.awc.org/pdf/education/des/ReThinkMag-DES610A-MassTimberinNorthAmerica-161031.pdf

Sağlam M. R. (2016). *Yüksek Yapılar: İstanbul'dan Örnekler*, Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, ISBN: 978-605-320-500-5

Sinoventure (29.05.2020). Erişim adresi: http://www.sinoplank.com/cn/product.php?cid=32

Skontoprefab (30.12.2020). Erişim adresi: http://www.skontoprefab.lv/en/news/project-botanikern

Şentürk H. (2020). *21. yüzyılda üretilen çok katlı ahşap yapıların yapım sürecinin değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul

TBDY 2019 (2019). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, T.C Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

T3 Timber Transit Technology. (14.06.2021), Erişim Adresi: http://www.t3northloop.com/

Treet (14.06.2021), Erişim Adresi: http://treetsameie.no/

Thinkwood, Mass Timber Manual (29.05.2021a). Erişim adresi: https://www.thinkwood.com/blog/new-2021-mass-timber-design-manual,

Thinkwood (30.12.2020b). Erişim adresi: https://www.thinkwood.com/mass-timber/nlt

Van De Kuilen J. W. G., Ceccottib A., Zhouyan X., Minjuan H., 2010, Very Tall Wooden Buildings with Cross Laminated Timber, *The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction*, Science Direct 14, 1621-1628

Waugh A., Wells M., Lindegar M., 2010, Tall Timber Buildings: Application of Solid Timber Constructions in Multi-Storey Buildings, *Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe–Timber Committee*,1-9, Switzerland

Weyerhaeuser (30.12.2020). Erişim adresi: https://www.weyerhaeuser.com/woodproducts/engineered-lumber/parallam-psl/parallam-psl-columns/

Waughthistleton (25.04.2021). Erişim adresi: https://waughthistleton.com/whitmore-road/

Yüksel İ. (2017). Rüzgar ve deprem yükleri ile bina formu yönünden yüksek yapılara kısa bir bakış, *IMO Bursa Bülten TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Bursa Şubesi Yayın Organı*, *Sayı: 70*, s:14-21

Soğan ve Yumurta Kabuğunun Yalıtım Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi

Mustafa EKEN*[1,a], Hanifi BİNİCİ[, b], Bilge Ekin İNAN[, c]

[1]*Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi, Elbistan Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojisi Bölümü, 46300, K.Maraş/Elbistan*

[2]*Nişantaşı Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34367, İstanbul*

[2]*Nişantaşı Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 34367, İstanbul*

Öz

Yaşadığımız çağda; dünya nüfusunun sürekli artışı, yaşanan teknolojik gelişmeler, sanayileşmenin hız kazanması ile birlikte enerjiye duyulan talep ve tüketim günden güne artmaktadır. Bu durum, Türkiye gibi enerji kaynakları bakımından dışa bağlı ülkeler bakımından ciddi bir ekonomik yük oluşturmaktadır. Ülkemizde inşaat sektöründe bina yapım ve binaların ısıtılma-soğutulma faaliyetlerinde harcanan enerji miktarı en yüksek seviyededir. Yenilikçi ve çevre dostu malzemelerin geliştirilmesi ve inşaat uygulamalarında kullanılması tüketilen enerjiyi azaltma ve yaşam konforunu ve mekân kalitesini yükseltme noktasında büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma kapsamında, atık malzemelerden soğan kabuğu ve yumurta kabuğu değerlendirilerek 14x16x2 cm boyutlarında hibrit kompozit yalıtım malzemesi üretimi gerçekleştirilmiş; numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler ışığında soğan kabuğu ve yumurta kabuğu katkı oranlarının artırımı ısı iletim katsayısı düşürdüğü belirlenmiştir. Çalışma sonuçları üretilen hibrit kompozit yalıtım malzemesi imalatında alternatif kaynakların değerlendirilmesine bir örnek sunarak çevre ve enerji tasarrufu bağlamında olumlu katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Geri Dönüşüm, Isı Yalıtımı, Ses Yalıtımı

1. Giriş

Enerji, günlük yaşamda temel ihtiyaçların karşılanması, sanayileşme, teknolojinin gelişmesi ve konfor şartlarının sağlanmasında katkı sağlayan en önemli kaynaktır.

Enerjiye ihtiyaç duyulan sektörlerin sürekli geliştiği, enerji tüketiminin de arttığı bir çağda yaşamaktayız.

Artan enerji tüketiminin birçok alanda etkileri olmaktadır: Havadaki sera gazı miktarında artışa sebep olmakta ayrıca ekonomi, halk sağlığı, hava kirliliği ve çevre alanlarında sorunlar ve tehditlerin oluşmasına neden olmaktadır.

Araştırmalarda Türkiye'de enerji tüketiminin %35'lik kısmı binalarda kullanıldığı belirlenmiştir.

Tüketilen enerji miktarının %65'lik kısmı ise ısınma-soğuma ve havalandırma amaçlı harcanmaktadır (Yaman vd., 2015; İZODER, 2021).

Yapılarda tüketilen enerji miktarı oranları dikkate alındığında enerjide tasarruf politikalarının uygulanması zorunluluk haline gelmiştir (Yılmaz, 2012).Çünkü Türkiye enerji üretimi bakımından dışa bağlı ülkelerden birisidir.

Enerji Bakanlığı tarafından 24 Haziran 2004 tarihinde kabul edilen "Enerji Verimliliği Stratejisi" başlıklı çalışma ile enerji kaynaklarımızın efektif düzeyinin Avrupa Birliği (AB) standartlarına getirilmesi amaçlanmıştır (Arslan, 2018). Enerji verimliliği, tüketilen enerji miktarının verimli bir şekilde kullanılmasını ifade eden tasarruf ilkesidir. Türkiye'de harcanan enerjinin yaklaşık %40'ının konutlarda tüketildiği, bu enerjinin %80'inin ısınma gereksinimin karşılanması için kullanıldığı belirlenmiştir.

Türkiye'de kışın ısınma, yazın soğutma maliyetlerinin yüksek olması, masrafları azaltmak için binalara yalıtım yapılmasını zorunlu hale getirmektedir.

Oranlar dikkate alındığında enerji tasarrufunun başlangıç noktasının yapı sektörünün olması gerektiği anlaşılmaktadır; bu doğrultuda ülkemizde mevcut binalarda çeşitli yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır (Shastri- Kim, 2014, Binici- Aksoğan, 2015).

Ülkemizde 1999'dan beri önemli boyutta enerji krizi yaşanmaktadır. Yerli kaynaklı enerji üretimimizin tüketimi karşılama oranı ise %30 olup, 2020'de %25'e düşeceği belirtilmiştir. 1999 yılında alınan verilerin enerji tüketimi dağılımı, %37 sanayi, %32 konut, %23 ulaşım, %5 tarım ve %3 diğer sektörlerinde olmuştur. 1999'da sadece elektrik dış alımına 1,525 milyar USD ödenmiş ve petrol ile doğalgaz için de yaklaşık 6 milyar USD giderimiz vardır.

Veriler, enerji tasarrufunun önemini açık bir şekilde gözler önüne sermektedir.
Sadece Konutlardaki enerji kullanımı %80'i ısıtma amacı ile harcandığı, ayrıca sanayide lojmanların, sosyal tesislerin, idare binalarının ısıtılma maliyetlerinin de bulunduğu göz önüne alındığında ısıtma amaçlı ısı yalıtımı kullanımını önemi öne çıkmaktadır (Dağsöz vd., 2011).

Radyasyon, dalga, parçacık veya foton olarak adlandırılan enerji paketleriyle yayılan enerjidir (Price vd., 1957). Modern toplumlarda radyasyonların çeşitli şekillerde, giderek artan amaçlarla kullanılması, bütün canlıların biyolojik risk altına sokmaktadır. Günümüzde radyasyonun temel bilimde, tıpta, tarımda, endüstride, askeri amaçlarla kullanışı, çok büyük ve geniş boyutlara ulaşmıştır. Dünyada tıp, bilimsel araştırma, enerji, tarım ve endüstride ihtiyaçları gidermek için üç binden fazla nükleer tesis, bunlara ek olarak tıp merkezlerinde tedavi ve teşhis amacıyla radyasyon ışınları kullanılmaktadır (Özalpaslan, 1980). Yayılan zararlı ışınlardan korunmak için bazı önlemlerin alınması şart olmaktadır. Radyasyondan korunmada zaman, mesafe ve zırhlama gibi 3 temel yöntem kullanılmaktadır. Çalışmada atıklardan üretilen malzemelerin zırhlama özellikleri araştırılacaktır.

Doğal kaynaklar dünya nüfusunun artması nedeni ile gitgide azalmaktadır. Bu yüzden doğal kaynaklar, geri dönüşüm ile korunabilir. Ayrıca malzeme tüketimi azaltılabilir ve nitelikli atıklar geri dönüştürülerek doğal kaynaklar verimli kullanılabilir. Dolayısı ile geri dönüşüm doğal kaynaklarımızın korunması ve verimli kullanılması için çok önemlidir (Briga-Sa vd., 2013, Özden, 2015). Son yıllarda birçok atık malzemenin inşaat mühendisliği alanında değişik amaçlarla kullanılması yaygınlaşmaktadır (Binici vd., 2007, Akyıldız, 2018).

Özellikle yapı sektöründe kullanılan malzemelerin atıkların değerlendirilmesi sonucu üretilmesi doğal kaynakların korunmasına ciddi katkı sağlayacaktır, ayrıca ürün maliyetlerinin azalmasına katkıda bulunacaktır.

Bilimsel çalışmalarda, atık malzemelerin değerlendirilmesi hammadde kaynaklarının korunmasına katkı sağlayacağı gibi çevre kirliliğinin de azalmasında da etkili olacak ve atık maddeler ekonomiye kazandırılacaktır.

Ülkeler kalkınma politikalarını ekonomik gelişme yoluyla sağlarlar.

Ekonominin gelişmesine direk katkı yapan uygulamaların başında yalıtım gelmektedir. Yalıtım uygulamalarının; enerji tasarrufu, çevre sağlığı, bütçe harcamalarının azalması, doğal kaynakların az kullanımı, konfor şartlarının artması gibi olumlu sonuçları vardır.

Çalışmada, soğan kabuğu ve yumurta kabuğu atıkları kullanılarak yeni bir hibrit kompozit yalıtım malzemesi üretimi gerçekleştirilmiştir.

Atıklar kullanılarak üretilen numunelere ısı iletkenlik katsayı tayini, ultrases geçiş hızı tayini ve radyasyon soğurma deneyleri yapılmıştır.

Elde edilen bulgular, soğan kabuğu ve yumurta kabukları atıklarının yalıtım malzemesi üretiminde kullanılan malzemelere alternatif olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Materyal

2.1.1. Atık Soğan Kabuğu

Soğan uzun yıllardır varlığını koruyan kültür bitkisi olarak bilinmektedir (Ketenoğlu vd., 2013). Kullanım alanın fazla olması nedeniyle soğan kabuğu atıkları temini kolaylıkla sağlanacaktır. İçerdiği zengin besin maddeleri ile soğan kabuğunun, insan sağlığına olan faydaları ve boya hammaddesi olarak kullanılması durumunda el dokuma halı ve kilimciliği sanayiinde alternatif doğal boyar madde kaynağı olabildiğinden dolayı önemi büyüktür. Alternatif hibrit kompozit levha üretiminde kullanılan soğan kabuklarının anti bakteriyel yapısal özellikleri sebebi ile organik esaslı yalıtım malzemesinde bakteri oluşumunu engelleme özelliğinden de faydalanılacaktır.

Çalışmada; marketlerden ve restoranlardan temin edilen soğan kabukları öncelikle etüvde uygun sıcaklık aralığında kurutulmuştur.

Kurutulan kabuklar tane boyutu homojenliği 1 mm'lik eleklerden geçirilmiş; işlem sonucunda 0-8 mm aralığındaki kabuklar ayrılarak kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılan soğan kabukları Şekil 1'de verilmiştir



Şekil 1. Atık Soğan kabukları

2.1.2. Atık Yumurta Kabuğu

Yumurta önemli bir hayvansal üründür. Maliyetinin az, tüketim giderlerinin fazla olması nedeniyle temin edilebilmesi kolaydır.

Dünya yumurta üretim miktarları incelendiğinde Türkiye 1.08 bin ton ile sekizinci sırada yer aldığı görülmektedir; bu da ülkemizde yumurta atıklarının miktarının fazla olduğuna işaret eder (Aytop- Işık, 2020).

Çalışmada kullanılan yumurta kabukları pastanelerden temin edilerek etüvde kurutulmuştur. Tane boyutu homojenliği için öğütülmüş ve 1mm den küçük eleklerden elenerek 0-4 mm boyutunda olanlar ayrılarak kullanılmıştır. Yumurta kabuğunun kimyasal bileşenleri Tablo 1'de, temin edilen yumurta kabukları Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Yumurta kabuğu kimyasal içeriği

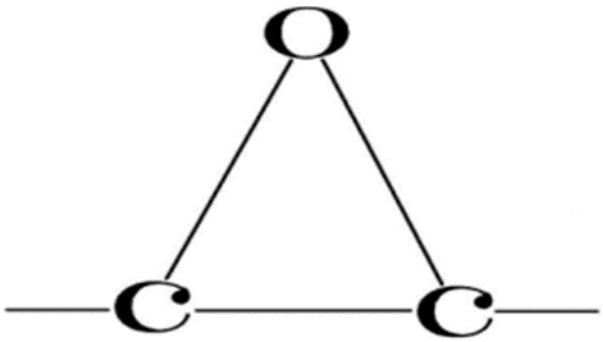
Bileşenler	Miktar (%)
Kalsiyum karbonat	94-97
Magnezyum	0,1-1
Kalsiyum fosfat	0,2-1
Organik maddeler	2-3,3
Sodyum, Potasyum, Demir, Bakır, Manganez	0,1



Şekil 2. Atık Yumurta kabukları

2.1.3.Epoksi

Likit olarak uygulanan reçine ve sertleştiriciden oluşan bağlayıcı özelliğe sahip termoset plastik reçinedir. Organik bileşik hali Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Epoksi zinciri

2.1.4.Alçı

Alçı taşının ısıtılması ve öğütülmesi sonucu üretilen alçı, Kalsiyum sülfat hemihidrat bileşiğine sahip, pişirilip toz durumuna getirildikten sonra su ilavesi ile sertleşme özelliği gösteren inşaat, tıp, cam sanayinde ve boya gibi çeşitli alanlarda kullanılan bağlayıcılık özelliğine sahip yapı malzemesidir.

Kalsiyum sülfat hemihidrat bileşiğine sahip, pişirilip toz durumuna getirildikten sonra su ilavesi ile sertleşme özelliği gösteren inşaat, tıp, cam sanayinde ve boya gibi çeşitli alanlarda kullanılan bağlayıcılık özelliğine sahip yapı malzemesidir. Çalışmada kullanılan alçı Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Alçı

2.2. Metod

2.2.1. Numunelerin Hazırlanması

Çalışmada ısı iletkenlik katsayısı, ultrasonik ses geçiş hızları ve radyasyon soğurma katsayılarında atık malzemelerin etkilerinin belirlenebilmesi için kullanılan soğan kabuğu ve yumurta kabuğu atık malzeme miktarlarına göre numune kodlamaları yapılmıştır. Yumurta atıkları, soğan kabukları ve bağlayıcı olarak alçı ve epoksi eklenerek homojen bir numune elde edilmesi amacıyla karışımlar mikserde karıştırılarak hibrit kompozit levha üretimi gerçekleştirilmiştir.

Yumurta atıkları, soğan kabukları ve bağlayıcı olarak alçı ve epoksi eklenerek homojen hale getirilmesi amacıyla karışımlar mikserde karıştırılmış; hibrit kompozit levha numunelerinin üretimi gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2'de kullanılan atık malzemelerin oranları, Şekil 5'te üretilen 4x4x16 cm boyutlarındaki numuneler verilmiştir**.**

Tablo 2. Karışım oranları

Numune kodu	Yumurta k. (g)	Soğan k. (g)	Epoksi (g)	Alçı (g)	Su (g)
S1	150	25	150	200	200
S2	150	35	150	200	200
S3	150	45	150	200	200
S4	25	150	150	200	200
S5	35	150	150	200	200
S6	45	150	150	200	200



Şekil 5. Hazırlanan Hibrit Kompozit Numuneler

2.2.2. Isı İletkenlik Katsayısı

Soğan kabuğu ve yumurta kabuğu atık malzemelerinden üretilen yalıtım malzemesinin ısı iletkenlik katsayısı ASTM C518 (ASTM C518-10, 2010) standardına göre termal iletkenlik cihazı ile ölçümü yapılmıştır.

2.2.3. Ultra Ses Geçiş Hızı

Malzeme içerisinde dalganın yayılma hızı ile malzeme yoğunluğu arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla kullanılan bir yöntemdir. ASTM C597-02 standardı göre (1) bağıntısı göre hesaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir (ASTM C597-02, 2009).

$$V = \frac{t}{s} * 10^3 \quad (1)$$

Formülde, "V" ses üstü dalga hızı, (km/s); "S" ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzey arasındaki mesafe, (m); "t" ses üstü dalganın numune üzerinden geçme süresini (µs) ifade etmektedir.

2.2.4. Radyasyon Soğurma Katsayı Tayini

Radyasyon sürekliliği olan ve doğada maruz kaldığımız zararlı ışınları barındıran enerji çeşididir. Çalışmada üretilen numuneler üzerinde 17.7, 26 ve 60 keV gibi çeşitli enerjilerde radyasyon geçirgenlik değerleri ölçülmüştür. Soğurma katsayıları (2) bağıntısı dikkate alınarak hesaplama işlemleri yapılmıştır**.**

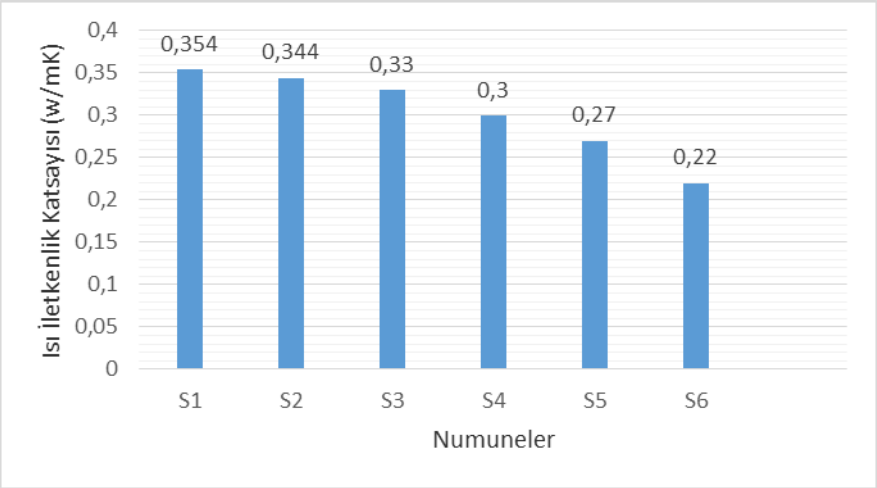
$$\mu = \ln (Io / Ix) / X \qquad (2)$$

Burada "Io" zırhlama olmadan ölçülen ışınların şiddeti; "Ix" zırhlama malzemesinden geçen ışınların şiddeti; "X" zırhlama malzeme kalınlığını ifade etmektedir.

3.Deneysel Çalışmalar

3.1. Isı İletkenlik Katsayısı

Isı iletkenlik katsayı değerlerinin katkı miktarı çeşidi ve oranlarına göre değişimleri Şekil 6'da verilmiştir



Şekil 6. Soğan kabuğu ve yumurta kabuğu katkılı malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı

Şekil 6'da verilen grafikte, kullanılan atık malzemelerin çeşidine göre ve katkı oranlarına göre Isı iletkenlik katsayı değerlerinin değişimi görülmektedir.

Çalışmada, atık yumurta kabuğu epoksi ve alçı ve miktarlarının sabit tutulup soğan kabuğu ve yumurta kabuğu katkı oranı değiştirilerek hibrit kompozit levha yalıtım malzemeleri üretilmiştir. Böylece katkı miktarlarının malzeme özelliklerine etkisi test edilmiştir.

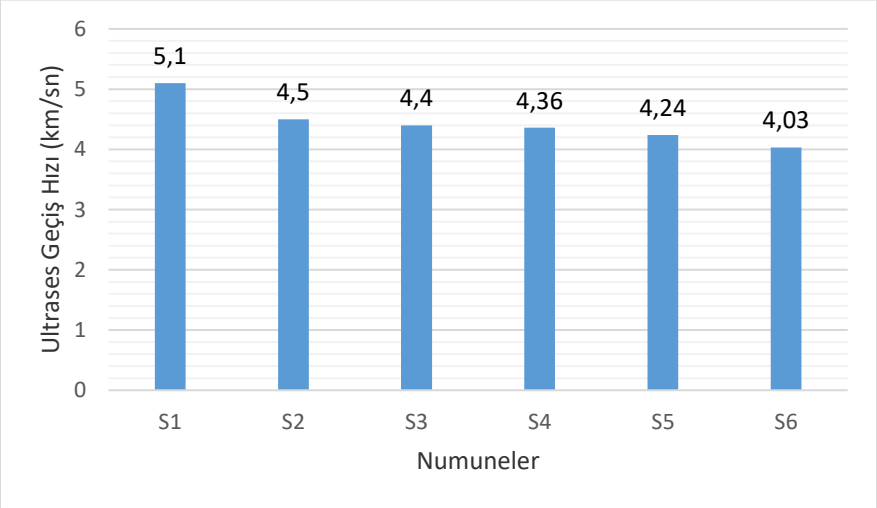
Atıkların değerlendirilmesi ile üretilen alternatif yalıtım malzemelerinde S6 numunesi 0,22 W/m.K ile en düşük ısı iletkenlik katsayısı değerine sahip olurken, en yüksek değer olan S1 0,35 W/m.K, S1 yumurta kabuğu katkılı numuneye aittir.

Soğan kabuğu atıkları ile üretilen alternatif hibrit kompozit levha yalıtım malzemelerinin sahip oldukları düşük iletim katsayı değerleri soğan kabuğunun boşluklu bir yapı oluşturmasıyla ilişkilendirilebilir.

Yumurta kabuğu katkılı alternatif yalıtım malzemelerinin lambda (λ) değerinin yüksek çıkması daha boşluksuz bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

3.2. Ultrases Geçiş Hızı

Soğan kabuğu ve yumurta kabuğu atık malzeme katkılı numunelerin ultrases geçiş hızları Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Soğan kabuğu ve yumurta kabuğu katkılı malzemelerin ultrases geçiş hızları

Ultrases geçiş hızlarının kullanılan katkı çeşidine ve oranına göre değişimi Şekil 7'de verilen grafikte görülmektedir. Ultrases geçiş hız değerleri malzeme içerisinde boşluk oranı arttıkça geçiş hızları yavaşlamakta, boşluk oranı arttıkça geçiş hızları artmaktadır.

Ultrases geçiş hız değerleri boşluk oranı ile ters orantılıdır; boşluk oranı arttıkça hız değeri azalır, boşluk oranı azaldıkça hız değeri artar.

Soğan kabuğu ve yumurta kabuğu atıkları ile üretilen alternatif yalıtım malzemesinde geçiş hızı en düşük numune 4,03 (km/sn) ile S6 nolu numune olmuştur.

En yüksek geçiş hız değeri ise 5,1 (km/sn) ile S1 nolu numunede ölçülmüştür. Ultrases geçiş hızı ve ısı iletkenlik değerlerinin belirlenmesinde malzeme içindeki boşluk miktarı en önemli parametredir. Üretilen alternatif hibrit kompozit yalıtım levhaları arasında atık soğan kabuğu katkılarla üretilen numunelerin yumurta kabuğu katkılı numunelere oranla daha boşluklu bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Elde edilen değerler Şekil 6'da verilen grafikteki ısı katsayısı değerleri ile örtüşmektedir.

3.3. Radyasyon Soğurma Yüzdeleri

Fizik laboratuvarında yapılan sayım sonucu oluşan spektrumlar değerlendirilmiştir. Değişik enerjilerde (60 Kev, 26 Kev, 17,7 Kev, 5,9 Kev) gelen radyoaktif ışınların numunelerden geçerken yüzde kaçının soğrulduğu Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Numunelerin Radyasyon soğurma oranları (%)

Numune kodu	60 Kev	26 Kev	17,7 Kev	5,9 Kev
S1	70	84	92	100
S2	68	81	87	100
S3	65	76	84	100
S4	39	48	65	100
S5	42	51	71	100
S6	43	54	76	100

Deney verileri incelendiğinde, soğan kabuğu oranı sabit tutulduğunda yumurta kabuğu oranı arttıkça radyasyon soğurma yüzdesi de arttığı ortaya konulmuştur.

Bu durum, yumurta kabuğunun kimyasal içeriğinde bulunan kalsiyum karbonat oranının yüksek olması ile bağdaştırılabilir. Düşük soğurma enerjisinde tüm numuneler ışınların tamamını soğurmuşken enerji seviyesi arttıkça soğurulma oranı düşmüştür.

Çalışmada üretilen numunelerin tümünde yumurta kabuğunun bulunmasının soğurmaya az da olsa katkı sağladığı belirlenmiştir.

Malzeme sahip olduğu bu özelliği sebebiyle; radyasyonun etkili olduğu hastanelerin ve araştırma laboratuvarlarının x-ray odalarının izolasyonunda kullanılabilir.

4. Sonuçlar

Çalışmada yumurta ve soğan kabuğu atıkları kullanılarak üretilen hibrit kompozit levhaların ısı, ses ve radyasyon geçirgenliği deneylerinde göstermiş oldukları avantajlarla alternatif yalıtım malzemesi olarak binalarda sürdürebilir ve sağlıklı yaşam koşullarını sağlayarak ayrıca radyasyon tehlikesi bulunan hastanelerde, askeri bölgelerde ve sığınaklarda değerlendirilebileceğini göstermektedirler.
Sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

1- Test edilen ısı iletkenlik katsayı değerlerine göre; Alternatif hibrit kompozit levha üretiminde kullanılan atık soğan kabuğu oranının artması ile S6 numunesinin hem ısı iletim katsayısını düşürmüş hem de gama ışını soğrulma katsayısını arttırmıştır.

2- Ultrasonik ses geçirgenlik hız değerlerinde ise; Atık malzemelerle üretilen hibrit kompozit levhalar arasında en düşük geçiş hızı 4,03 değeri ile S6 nolu numune olurken, en yüksek geçiş hızı ise 5,01 değeri ile S1 katkılı numune olduğu belirlenmiştir.
Atıklar kullanılarak üretilen alternatif hibrit kompozit levhaların katkı maddeleri incelendiğinde soğan kabuğu kullanımının S4, S5 ve S6 nolu malzemelerde daha fazla boşluk meydana getirmesinin ultrasonik ses geçiş hızlarının düşük değer gösterdiği belirlenmiştir.

3- Radyasyon soğurma değerlerinde; Alternatif yalıtım malzemesi üretiminde radyasyon soğurma yüzdesi en yüksek numune %70 soğurma değeri ile S1 katkılı numune olurken, %39 değeri ile en düşük soğurma yüzdesine sahip S4 katkılı numune olmuştur. Radyasyon soğurma yüzdeleri incelendiğinde atık malzemelerden yumurta kabuğu katkılı malzemelerin radyasyon soğurmada etkili olduğu görülmektedir.

4- Yapılan çalışma; atık malzemelerin değerlendirilmesi ile alternatif yalıtım malzemesi üretiminin fikrini ortaya sunmuştur. Araştırmada levhalar 4 cm kalınlığında üretilmiştir.
Levha kalınlıklarının arttırılması halinde ısı, ses ve radyasyon soğurma değerlerinin kapasitesinin artacağı düşünülmektedir.

5- TS 825 standardında belirtildiği üzere bir malzemenin yalıtım malzemesi olarak kabul edilebilmesi için ısı iletim katsayısının 0,1 W/mK değerinden daha küçük olması gerekir. Ancak dar kapsamlı bir

çalışma olmasına rağmen hem yumurta hem de soğan kabuklarının yalıtım malzemesi üretiminde kullanılması çalışılmaya değer bir konu olarak görülmüştür.

KAYNAKLAR

Abidi S., Nait-Ali B., Joliff Y., Favotto C. (2015). *Impact of perlite, vermiculite and cement on the thermal conductivity of a plaster composite material: Experimental and numerical approaches*, Composites: Part B, 68: 392–400.

Akyıldız, A., Köse, ET., Yıldız, A. (2017). *Compressive strength and heavy metal leaching of concrete containing medical waste incineration ash*. Con. Build. Mat. 138: 326-332.

Akyıldız. A. (2018). Yumurta Kabuğu Katkılı Harçların Mekanik Özellikleri, *Karaelmas Fen ve Müh. Derg*. 8(2):570-574.

Alam M., Singh H., Brunner S., Naziris C.(2014). *Experimental characterisation and evaluation of the thermo-physical properties of expanded perlite-Fumed silica composite for effective vacuum insulation panel (VIP) core*, Energy and Buildings, 69, 442–450.

Arslan A. M. (2018). Aktaş M. İnşaat Sektöründe Kullanılan Yalıtım Malzemelerinin Isı ve Ses Yalıtımı Açısından Değerlendirilmesi, *Politeknik Dergisi*, 21(2), 299-320.

Aytop F., Işık F. (2020). Gaziantep İlindeki Tüketicilerin Yumurta Tüketim Alışkanlıklarının Belirlenmesi, *Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi* 7(1): 269–275.

Binici H., Aksoğan O. (2015). *Engineering properties of insulation material made with cotton waste and fly ash*, Journal of Material Cycles and Waste Management, 17, 157-162.

Binici H., Eken M., Dolaz M.,Aksogan O.,Kara M. (2014). *An environmentally friendly termal insulation material from sunflowers stalk, textile waste and stubble fibres*, Construction and Building Materials, 51:24-33.

Binici H., Gemci R., Aksogan O., Kaplan H. (2010). *Issulation properties of bricks made with cotton and textile ash wastes*, International Journal of Materials Research, 101:894-899.

Binici H., Kaplan H, Yılmaz S. (2007). Influence of marbleand lime Stone dusts as additives on some mechanical properties of concrete, Scientific Research and Essay, 9:372-379.

Binici H., Shah T., Aksogan O., Kaplan H. (2008). *Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates*, Journal of Materials Processing Technology, 208:299-308.

Binici H., Yucegok F., Aksogan O., Kaplan H. (2008). *Effect of corncob, wheat strawand plane leaf ashes as mineral admixtures on concrete durability*, ASCE,Civil Engineering Materials, 20:478-483.

Binici H.,Gemci R., Kaplan H. (2012). *Physical and Mechanical properties of mortar with out cement*, Construction and Building Materials, 28:357-361.

Briga-Sa A, Da Teixeira N, Pinto J, Caldeira F, Varum H, Paiva A. (2013). *Textile waste as an alternative thermal insulation building material solution*, Construction and Building Materials, 38:155-160.

Dağsöz A.K., Bayraktar K.G., Ünveren H. (2001).Isı Yalıtım ve Kalarifer Tesisatı Standartları Üzerine Görüşler, *Yapı Malzemesi Dergisi*,Sayı:1,S:50-54.

İZODER. (2021). Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği Web Sitesi. (2021, 20 Mayıs) Erişim adresi *https://www.izoder.org.tr/*

Ketenoğlu, O., Obalı, O., Güney, K., Geven, F. (2003). Ekonomik Bitkiler, Ankara*: Bizim Büro Basımevi Yayın ve Dağıtım*.

Özalpaslan A. (1980). *Radyobiyoloji*, İstanbul: İ.Ü. Fen Fakültesi Basımevi.

Özden, Ö. (2015). Geri Dönüşümün Çevre ve Ekonomi Açısından Önemi. *http://toplumhekimligi.istanbul.edu.tr/wp-content/uploads/Geri-dönüşümün-çevre-ve-ekonomiaçısından- önemi*

Price B.T.,Horton C.C. And Spinney K.T. (1957). *Radiation Shielding*, London New York: Pergamon Press.

Sezer. F. Ş. (2005). Türkiye'de Isı Yalıtımının Gelişimi ve Konutlarda Uygulanan Dış Duvar Isı Yalıtım Sistemleri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Dergisi*, 10 (2), 79-85.

Shastri D., Kim S.H. (2014). *A new consolidation process for expanded perlite particles*, Construction and Building Materials, 60: 1–7.

Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. American Society for Testing and Materials, (2009)., (ASTM C597-02), Philadelphia, U.S.A.

Standard test method for steady-state thermal transmission properties by means of the heat flow meter apparatus (2010).", *American Society for Testing and Materials*, (ASTM C518-10), U.S.A.

Subaşı, S., Öztürk, H., Emiroğlu M. (2017). *Utilizing of waste ceramic powders as filler material in self-consolidating concrete*. Cond. Build. Mat. 149(15): 567-574.

Sun D., Wang L. (2015). *Utilization of paraffin/expanded perlite materials to improve mechanical and thermal properties of cement mortar*, Construction and Building Materials, 101, 791–796.

Yaman, Ö., Şengül, Ö., Selçuk, H., Çalıkuş, O., Kara, İ., Erdem, İ., Özgür, D. (2015). Binalarda Isı Yalıtımı ve Isı Yalıtım Malzemeleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, 487, 62-75.

Yılmaz, M. (2012). Türkiye'nin Enerji Potansiyeli ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Açısından Önemi. *Ank. Üni. Çevrebilimleri Der*., 4(2), 33-54.

Yılmaz, Y. (2014). *Beton Üretiminde Uçucu Kül ve Yüksek Fırın Cürufu Kullanılmasının Etkileri ve Maliyet Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.

Ekseni Doğrultusunda Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kirişlerin Navier Yöntemiyle Statik Analizi

Muhittin TURAN*[1,a]
[1]*Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 69010, Bayburt*

Öz

Bu çalışmada, ekseni doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin statik analizi Navier yöntemiyle incelenmiştir. Bu yöntemde, göz önüne alınan her sınır şartı için farklı trigonometrik seri fonksiyonları kullanılmıştır. Kullanılan trigonometrik seri fonksiyonların bu problemin çözümünde ne kadar etkili olduğu araştırılmıştır. Kiriş malzemesinin Hooke kanununa uygun olduğu, malzeme özelliklerinin ise uzunluk boyunca kuvvet kuralına göre değiştiği kabul edilmiştir. Yer değiştirme alanı, birinci mertebeden kayma deformasyonlu kiriş teorisine göre yazılmıştır. Denge denklemleri, Lagrange eşitliği yardımıyla elde edilmiş ve sayısal olarak çözülmüştür. Çeşitli mesnet koşulları, kuvvet fonksiyonu üst indis değeri (k_x) ve narinlik oranları (L/h) için boyutsuz maksimum yer değiştirmeler grafik ve tablolarla verilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde mevcut olanlarla karşılaştırılmış ve kullanılan trigonometrik seri fonksiyonların oldukça uygun olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ekseni Doğrultusunda Fonksiyonel Derecelendirilmiş Kiriş, Navier Yöntemi, Statik Analiz, Trigonometrik Seri Fonksiyonlar

Static Analysis of Axially Functionally Graded Beams by Navier's Method

Abstract

In this study, the static analysis of axially functionally graded beams is investigated by the Navier's method. In this method, different trigonometric series functions are used for each boundary condition. The effect of the trigonometric series functions used in the solution of the problem was investigated. Beam material obeys the Hooke's law, and material properties change according to the power-law rule along the length. Displacement field is defined according to the first-order shear deformation theory. Equations of equilibrium are obtained by the Lagrange's equation, and solved numerically. The maximum normalized displacements are given with graphs and tables for various boundary conditions, various values of the power-law indices (k_x) and the slenderness (L/h). The results obtained are compared with the available in the literature, and it is seen that the trigonometric series functions used were quite suitable.

Keywords: Axially Functionally Graded Beams, Navier's Method, Static Analysis, Trigonometric Series Functions

1. Giriş

Termal değişimlerin çok yüksek olduğu havacılık, uçak ve uzay sanayi, mekanik, inşaat ve elektrik devre sanayi gibi geniş kullanım alanlarına sahip olan fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelerin (FDM) mekanik özellikleri bir noktadan diğerine düzgün ve sürekli olarak bir kurala göre değişmektedir. Termal değişimlerin çok yüksek olduğu bu alanlarda kullanılan malzemeler, bu yüksek sıcaklık değişimlerinden dolayı oluşacak gerilmeleri azaltmak için seramik ve metal fazdan oluşturulmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı fonksiyonel derecelendirilmiş malzemelere olan talep her geçen gün artmaktadır. Bu sebeple araştırmacılar, özellikle mekanik alanında kullanılan kesitleri küçük fonksiyonel derecelendirilmiş malzemeden yapılan kirişlerin mekanik davranışları üzerine birçok çalışma yapmışlardır.

Enine ve ekseni doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin mekanik davranışlarını analitik ve sayısal yöntemlerle inceleyen literatürde birçok çalışma karşımıza çıkmaktadır. Sayısal yöntemler ile yapılan çalışmaları sıralayacak olursak; Alshorbagy vd. (2011), Euler teorisine dayalı bir sonlu eleman

modeli kullanarak bir kuvvet fonksiyonuna göre enine ve boyuna doğrultuda fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin serbest titreşimini incelemişlerdir. Vo vd. (2014), yüksek mertebeden kayma deformasyonlu kiriş teorisine dayalı bir sonlu eleman modeli ile FDM sandviç kirişlerin serbest titreşim ve burkulma analizlerini yapmışlardır. Yer değiştirme alanı çalışmada Reddy-Bickford kiriş teorisine göre yazılmıştır. Akbaş (2015), eksenel basınç kuvvetine maruz ekseni doğrultusunda FDM konsol kirişin burkulma sonrası davranışını Lagrange sonlu eleman modeli kullanarak incelemiştir. Kahya ve Turan (2017, 2018), tek tabakalı ve sandviç FDM kirişlerin serbest titreşim ve burkulma analizlerini sonlu elemanlar yöntemiyle ele almışlardır. Katili vd. (2020), FDM kirişin statik ve serbest titreşim analizi için Timoshenko kiriş teorisinin birleşik ve bütünleşik yaklaşımına dayanan yüksek mertebeden bir sonlu eleman geliştirmişlerdir. Önerilen bu elemanın her düğüm noktasında dört serbestlik derecesi vardır ve eleman enine kesme etkilerini dikkate almaktadır. Akbaş (2021), ekseni doğrultusunda FDM konsol kirişin harmonik bir yük altında zorlanmış titreşim tepkilerini Ritz yöntemini kullanarak incelemiştir.

FDM kirişlerin mekanik davranışlarının analitik yöntemlerle incelendiği çalışmaları sıralayacak olursak; Wu vd., (2005), ekseni doğrultusunda FDM basit kirişin dinamik denklemlerini çözebilmek için yarı-ters yöntem kullanmışlardır. Aynı yöntemi kullanan Aydogdu (2008) ise ekseni doğrultusunda FDM basit kirişin titreşim ve burkulmasını incelemiştir. Şimşek vd. (2012), hareketli harmonik yük etkisi altındaki ekseni doğrultusunda FDM basit kirişin Euler-Bernoulli kiriş teorisine göre lineer dinamik analizini yapmışlardır. Huang vd. (2016), ekseni doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş ve düzgün olmayan Timoshenko kirişlerinin burkulma davranışlarını yardımcı fonksiyon ve güç serilerine dayalı lineer cebirsel denklem sistemine dönüştürerek incelemişlerdir. Cao vd. (2018), farklı sınır koşullarına sahip üniform ekseni doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerinin serbest titreşimini araştırmak için asimptotik geliştirme yöntemi kullanılmışlardır. Karamanlı (2018), çeşitli kiriş teorilerini kullanarak iki yönlü FDM kirişlerin eğilme analizlerini yapmıştır. Lee ve Lee (2019), birinci mertebeden kayma deformasyonlu kiriş teorisine dayanan çalışmalarında, fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin doğal frekanslarına normal ve kayma şekil değiştirme enerjilerinin etkisini araştırmışlardır. Turan ve Kahya (2021), FDM sandviç kirişlerin serbest titreşim ve burkulma analizlerini Navier yöntemiyle incelemişlerdir.

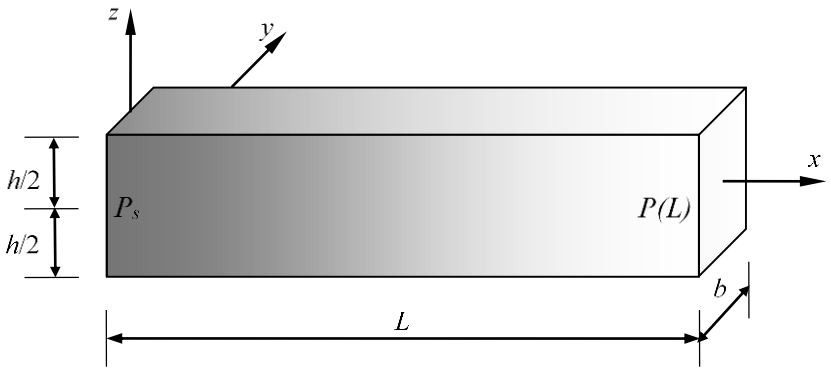
Bu çalışmada, ekseni doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin statik analizi Navier yöntemiyle incelenmiştir. Literatür incelendiğinde, FDM kirişlerin çözümü için Navier yönteminin genellikle tercih edildiği ve çözüm için sınır şartlarını sağlayan bir trigonometrik fonksiyonun kullanıldığı görülmüştür. Bu fonksiyonun seçimindeki zorluk sebebiyle Navier yöntemini kullanan çalışmalar genellikle basit kiriş ile sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada ise göz önüne alınan her sınır şartı için farklı trigonometrik seri fonksiyonları kullanılmıştır. Kullanılan trigonometrik seri fonksiyonların bu problemin çözümünde ne kadar etkili olduğu araştırılmıştır. Kiriş malzemesinin Hooke kanununa uygun olduğu, malzeme özelliklerinin ise uzunluk boyunca kuvvet kuralına göre değiştiği kabul edilmiştir. Yer değiştirme alanı, birinci mertebeden kayma deformasyonlu kiriş teorisine göre yazılmıştır. Denge denklemleri, Lagrange eşitliği yardımıyla elde edilmiş ve sayısal olarak çözülmüştür. Çeşitli mesnet koşulları, kuvvet fonksiyonu üst indis değeri (k_x) ve narinlik oranları (L/h) için boyutsuz maksimum yer değiştirmeler grafik ve tablolarla verilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde mevcut olanlarla karşılaştırılmış ve kullanılan trigonometrik seri fonksiyonların oldukça uygun olduğu görülmüştür.

2. Analitik Yöntemler

Şekil 1'de görülen dikdörtgen kesitli ekseni doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin boyu L, kesit boyutları $b \times h$ olarak verilmektedir. Ekseni doğrultusunda FDM kirişin lineer elastik, izotrop olduğu ve malzeme özelliklerinin uzunluk boyunca (1)'deki gibi değiştiği kabul edilmektedir.

$$P(x) = (P_s - P_m)\left(1 - \frac{x}{2L}\right)^{k_x} + P_m \qquad (1)$$

Burada, P_s ve P_m sırasıyla seramik ve metal bileşenlerine ait malzeme özelliklerini (Elastisite modülü E, Poisson oranı ν, yoğunluk ρ) göstermektedir. k_x kuvvet fonksiyonu üst indis değerleridir ve negatif olmayan bir sayıdır.



Şekil 1. Ekseni doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş kirişin koordinat takımı ve geometrisi

Yer değiştirme vektörü (2)'deki gibidir ve boyutu trigonometrik seri sayısına (m) bağlıdır.

$$\mathbf{u} = \{u_1 \quad u_2 \quad \cdots u_m \quad w_1 \quad w_2 \quad \cdots w_m \quad \phi_1 \quad \phi_2 \quad \cdots \phi_m\}^T \tag{2}$$

Burada u, w ve ϕ sırasıyla boyuna ve enine yer değiştirmeler ile dönme bileşenleri olup çubuk ekseni üzerinde ölçülmektedirler.

Birinci mertebeden kayma deformasyonlu kiriş teorisine göre herhangi bir noktadaki yer değiştirmeler (3)'de verilmektedir.

$$U(x,z) = u(x) - z\,\phi(x), \quad W(x,z) = w(x) \tag{3}$$

Ekseni doğrultusunda FDM izotropik kiriş için bünye denklemleri (4)'deki gibi yazılır.

$$\sigma_{xx} = E(z)\varepsilon_{xx}, \quad \tau_{xz} = KG(z)\gamma_{xz} \tag{4}$$

Burada, σ_{xx} ve τ_{xz} sırasıyla normal ve kayma gerilmelerini, $E(z)$, $\nu(z)$ ve $G(z) = E(z)/2[1+\nu(z)]$ sırasıyla elastisite modülü, Poisson oranı ve kayma modülünü göstermektedir. K kesmede düzeltme katsayısı olup dikdörtgen kesitler için 5/6'dır.

Denge denklemleri (5)'deki Lagrange eşitliği yardımıyla elde edilmiştir.

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = 0 \tag{5}$$

Burada, $L = T - (U + V)$ Langragian fonksiyonu ve q_i düğüm noktalarındaki genelleştirilmiş koordinatlardır. İfadedeki T ve U sırasıyla kinetik ve şekil değiştirme enerjilerini, V ise dış yükün yaptığı işi göstermektedir.

Sayısal çözüm için yer değiştirmeler (6)'daki gibi kabul edilmiştir.

$$u(x) = \sum_{i=1}^{m} \varphi_i(x)\,u_i, \quad w(x) = \sum_{i=1}^{m} \psi_i(x)\,w_i, \quad \phi(x) = \sum_{i=1}^{m} \theta_i(x)\,\phi_i \tag{6}$$

Burada, u_i, w_i ve ϕ_i genelleştirilmiş koordinatları, $\varphi_i(x)$, $\psi_i(x)$ ve $\theta_i(x)$ kirişin sınır şartlarına bağlı olarak değişen trigonometrik seri fonksiyonları, *m* ise trigonometrik seri sayısını göstermektedir. Tablo 1'de, çalışmada göz önüne alınan kirişler için mesnet şartlarını sağlayacak şekilde seçilen trigonometrik seri fonksiyonlar verilmiştir. Burada, B-B basit kirişi, A-S konsol kirişi, A-A ise iki ucu ankastre kirişi ifade etmektedir.

Tablo 1. Analitik çözümde kullanılan trigonometrik seri fonksiyonlar

Sınır şartları	$\varphi_i(x)$	$\psi_i(x)$	$\theta_i(x)$
B-B	$\cos\frac{i\pi x}{L}$	$\sin\frac{i\pi x}{L}$	$\cos\frac{i\pi x}{L}$
A-S	$\sin\frac{(2i-1)\pi x}{2L}$	$1-\cos\frac{(2i-1)\pi x}{2L}$	$\sin\frac{(2i-1)\pi x}{2L}$
A-A	$\sin\frac{2i\pi x}{L}$	$\sin^2\frac{i\pi x}{L}$	$\sin\frac{2i\pi x}{L}$

İş ve enerji ifadeleri ile Tablo 1'de verilen çözüm fonksiyonları da hesaba katılarak Lagrange denkleminde yazılırsa *L* boyundaki kirişin statik analizi için hareket denklemi (7)'deki gibi elde edilir.

$$\mathbf{ku} = \mathbf{f} \qquad (7)$$

Burada, **k** rijitlik matrisi, **f** ise dış yük vektörüdür. Bu eşitliğin çözümünden yer değiştirmeler elde edilir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, düzgün yayılı yük (q) altında ekseni doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş çeşitli sınır şartlarına sahip kirişlerin kuvvet fonksiyonu üst indis değerleri (k_x) ve narinlik oranları (L/h) için maksimum boyutsuz yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Problemin çözümünde kullanılan trigonometrik seri fonksiyonların kuvvet fonksiyonu üst indis değerlerine göre bu problemin çözümünde ne kadar etkili olduğu araştırılmıştır.

Bu problemde, L=2m, b=0.1m ve q=10000N/m olarak alınmıştır. FDM kirişte kullanılan metal (alüminyum, Al) ve seramik (alüminyum oksit, Al_2O_3) için malzeme özellikleri sırasıyla:

- E_m = 70GPa, ρ_m = 2702kg/m^3, ν_m = 0,3
- E_s = 380GPa, ρ_s = 3960kg/m^3, ν_s = 0,3

şeklindedir. Burada, kiriş malzemesi için sırasıyla metal ve seramiğe ait Elastisite modülü (E), yoğunluk (ρ) ve Poisson oranı (ν) verilmiştir. Yer değiştirmeler çalışmada (8) ifadesindeki gibi boyutsuz olarak verilmiştir.

$$\bar{w} = \frac{100E_m h^3}{qL^4} W(x,z) \qquad (8)$$

Çeşitli sınır şartlarına sahip ekseni doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin maksimum boyutsuz yer değiştirmelerinin analitik çözümde kullanılan trigonometrik seri sayısıyla değişimi Tablo 2'de verilmiştir. Burada L/h = 5, k_x = 1 olarak alınmıştır. Tablodaki sonuçlara göre statik analizler için kullanılacak trigonometrik seri sayısı 14 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3'de ekseni doğrultusunda FDM basit kirişin maksimum boyutsuz yer değiştirmelerinin kuvvet fonksiyonu üst indis değerleri (k_x) ve narinlik oranlarına (L/h) göre değişimi incelenmiştir. Önerilen Navier çözümünün sonuçları, dört bilinmeyenli kayma ve normal deformasyon teorisini kullanan Karamanlı (2018) ile karşılaştırılmış ve sonuçların oldukça uyumlu oldukları görülmüştür. Tablo incelendiğinde L/h=5 ve 20 için k_x =0 olması durumunda en küçük boyutsuz yer değiştirmelerin meydana geldiği görülmektedir. Bu durumda kiriş tamamen seramikten oluşmaktadır. k_x arttıkça kirişin malzeme özelliği seramikten metale doğru gitmektedir ve bu durumda boyutsuz yer değiştirmeler artmaktadır. Bu senaryo beklenen bir durumdur. Çünkü seramiğin elastisite modülü metalden daha büyüktür. Ayrıca L/h oranının artmasıyla yer değiştirmelerin de artması beklenirken tablo incelendiğinde azaldığı görülmektedir. Bu durum boyutsuzlaştırmadan kaynaklanmaktadır.

Tablo 4 ve 5'de ise sırasıyla ekseni doğrultusunda FDM iki ucu ankastre ve konsol kirişlerin k_x ve L/h değerlerinin değişimine göre maksimum boyutsuz yer değiştirmeleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlar yine Karamanlı (2018) ile kıyaslanmış ve sonuçların oldukça uyumlu oldukları kanaatine varılmıştır. Sonuçlara bakıldığında basit kirişin sonuçları için söylenenler aynen geçelidir. Ayrıca, mesnet şartlarına göre bir kıyaslama yapılacak olursa, en küçük boyutsuz yer değiştirmelerin beklenildiği gibi iki ucu ankastre kirişte, en büyük boyutsuz yer değiştirmelerin ise konsol kirişte meydana geldiği görülmüştür.

Tablo 2. Farklı sınır şartlarına sahip ekseni doğrultusunda FDM kirişlerin maksimum boyutsuz yer değiştirmelerinin analitik çözümde kullanılan terim sayısıyla değişimi (L/h=5, k_x = 1)

Trigonometrik Seri Sayısı	Sınır Şartları		
m	B-B	A-A	A-S
2	4.0438	1.0053	31.3244
4	4.0113	1.0466	31.4874
6	4.0164	1.0594	31.5303
8	4.0149	1.0657	31.5504
10	4.0156	1.0694	31.5622
12	4.0152	1.0719	31.5699
14	4.0154	1.0737	31.5755
16	4.0153	1.0750	31.5796

Tablo 3. Ekseni doğrultusunda FDM basit kirişin maksimum boyutsuz yer değiştirmeleri

Kiriş	Teori	$k_x = 0$	$k_x = 0{,}5$	$k_x = 1$	$k_x = 2$	$k_x = 5$	$k_x = 10$	$k_x \to \infty$
$L/h = 5$								
	Bu Çalışma	3,1657	3.5696	4.0157	5.0244	8.5099	12.8583	17.185
	Karamanlı (2018)	3.1402	-	3.9791	4.9564	8.2268	12.225	-
$L/h = 20$								
	Bu Çalışma	2.8963	3.2647	3.6714	4.6003	7.8651	11.995	15.722
	Karamanlı (2018)	2.8952	-	3.6669	4.5677	7.6251	11.411	-

Tablo 4. Ekseni doğrultusunda FDM iki ucu ankastre kirişin maksimum boyutsuz yer değiştirmeleri

Kiriş	Teori	$k_x = 0$	$k_x = 0{,}5$	$k_x = 1$	$k_x = 2$	$k_x = 5$	$k_x = 10$	$k_x \to \infty$
$L/h = 5$								

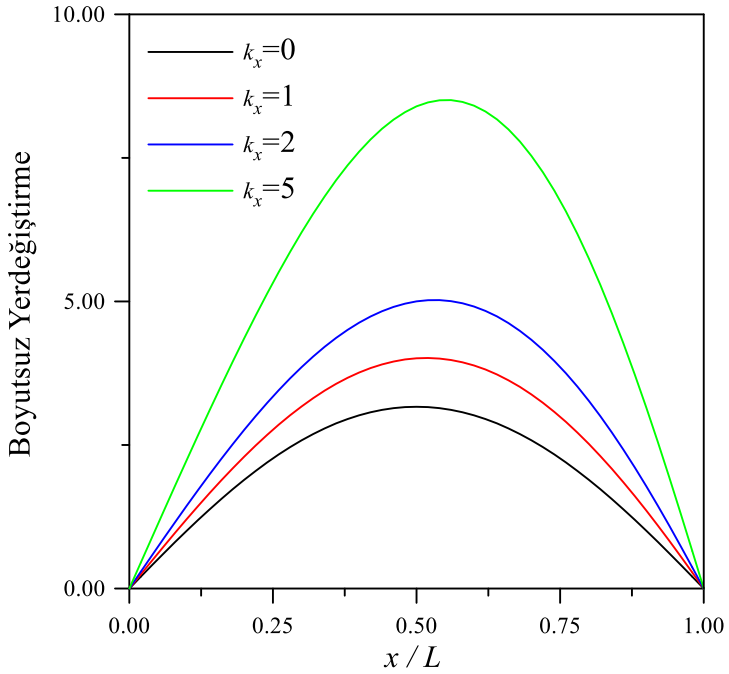
Bu Çalışma	0.8547	0.9647	1.0737	1.2816	1.9214	2.4704	4.6397
Karamanlı (2018)	0.8349	-	1.0660	1.3187	2.0188	2.6766	-
L / h = 20							
Bu Çalışma	0.5931	0.6694	0.7450	0.8896	1.3350	1.7352	3.2195
Karamanlı (2018)	0.5898	-	0.7532	0.9315	1.4187	1.8575	-

Tablo 5. Ekseni doğrultusunda FDM konsol kirişin maksimum boyutsuz yer değiştirmeleri

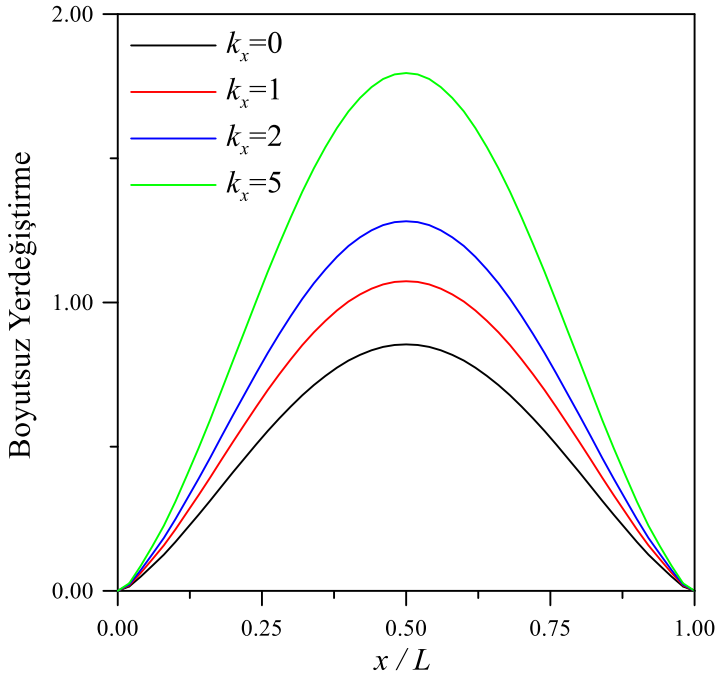
Kiriş	Teori	$k_x = 0$	$k_x = 0{,}5$	$k_x = 1$	$k_x = 2$	$k_x = 5$	$k_x = 10$	$k_x \to \infty$
L / h = 5								
	Bu Çalışma	28.7476	30.1185	31.5756	34.7395	45.7297	64.3656	156.0563
	Karamanlı (2018)	27.6636	-	30.4942	33.6065	44.5715	63.7455	-
L / h = 20								
	Bu Çalışma	27.7008	28.9820	30.3423	33.2879	43.5259	61.1417	150.3759
	Karamanlı (2018)	-	-	-	-	-	-	-

Şekil 2'de düzgün yayılı yük altındaki ekseni doğrultusunda FDM basit kiriş için boyutsuz yer değiştirmelerin x/L'ye göre değişimleri verilmiştir. Burada L/h =5 için k_x'in farklı değerlerine göre grafik çizilmiştir. Grafik incelendiğinde k_x artmasıyla birlikte boyutsuz yer değiştirmelerin arttığı daha net görülmektedir. Ayrıca, homojen basit kirişte maksimum yer değiştirme (k_x =0'da kiriş tamamen seramik) kirişin tam orta kesitinde çıkmaktadır. Fakat, k_x'in sıfırdan farklı değerlerinde maksimum yer değiştirmeler orta kesitte değil, ona yakın bir noktada meydana gelmektedir. Buna benzer yorumları Şekil 3'de verilen iki ucu ankastre ekseni doğrultusunda FDM kiriş için yapabiliriz. İki ucu ankastre kirişte uçlarda dönmeler tutulu olduğundan, yer değiştirme grafiklerinin geometrisi basit kirişten farklı olmaktadır. Bu da beklenen bir durumdur.

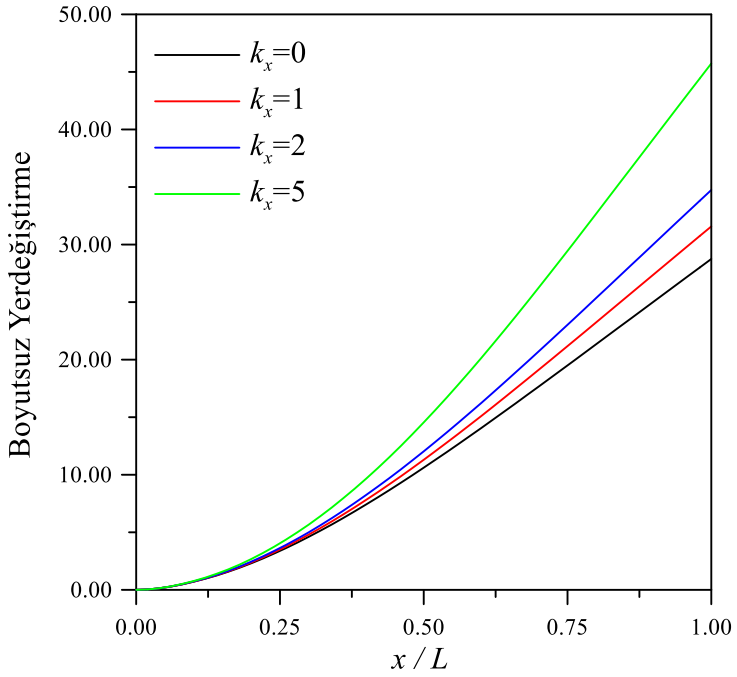
Şekil 4'te ekseni doğrultusunda FDM konsol kiriş için boyutsuz yer değiştirmelerin x/L'ye göre değişimleri incelenmiştir. Burada L/h =5 için k_x'in farklı değerlerine göre grafik çizilmiş ve k_x'in artmasıyla birlikte boyutsuz yer değiştirmelerin arttığı görülmüştür. Ayrıca, maksimum boyutsuz yer değiştirmelerin beklenildiği gibi kirişin uç noktasında meydana geldiği tespit edilmiştir.



Şekil 2. Ekseni doğrultusunda FDM basit kirişte boyutsuz yer değiştirmelerin *x/L*'ye göre değişimi (*L/h* = 5)



Şekil 3. Ekseni doğrultusunda FDM iki ucu ankastre kirişte boyutsuz yer değiştirmelerin *x/L*'ye göre değişimi (*L/h* = 5)



Şekil 4. Ekseni doğrultusunda FDM konsol kirişte boyutsuz yer değiştirmelerin *x/L*'ye göre değişimi (*L/h* = 5)

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, ekseni doğrultusunda fonksiyonel derecelendirilmiş kirişlerin statik analizi Navier yöntemiyle incelenmiştir. Literatür incelendiğinde, FDM kirişlerin çözümü için Navier yönteminin genellikle tercih edildiği ve çözüm için sınır şartlarını sağlayan bir trigonometrik fonksiyonun kullanıldığı görülmüştür. Bu fonksiyonun seçimindeki zorluk sebebiyle Navier yöntemini kullanan çalışmalar genellikle basit kiriş ile sınırlı kalmıştır. Bu çalışmada ise göz önüne alınan her sınır şartı için farklı trigonometrik seri fonksiyonları kullanılmıştır. Kullanılan trigonometrik seri fonksiyonların bu problemin çözümünde ne kadar etkili olduğu araştırılmıştır. Çeşitli mesnet koşulları, kuvvet fonksiyonu üst indis değeri (k_x) ve narinlik oranları (L/h) için boyutsuz maksimum yer değiştirmeler grafik ve tablolarla verilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde mevcut olanlarla karşılaştırılmış ve kullanılan trigonometrik seri fonksiyonların oldukça uygun olduğu görülmüştür. Ayrıca, çalışmadan elde edilen bulgular ışığında çıkarılan sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Ekseni doğrultusunda FDM kirişlerde kuvvet fonksiyonu indisinin artmasıyla (metale doğru yaklaşılırken) boyutsuz yer değiştirmeler artmaktadır.
- *L/h* oranının artmasıyla boyutsuz yer değiştirmelerin de artması beklenirken, azaldığı görülmektedir. Bu durum boyutsuzlaştırmadan kaynaklanmaktadır.
- Homojen basit kirişte maksimum yer değiştirme (k_x =0'da kiriş tamamen seramik) kirişin tam orta kesitinde çıkmaktadır. Fakat, k_x'in sıfırdan farklı değerlerinde maksimum yer değiştirmeler orta kesitte değil, ona yakın bir noktada meydana gelmektedir.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde ileride ele alınabilecek çalışmalarda, trigonometrik seri fonksiyonları kullanılarak malzeme özelliği iki doğrultuda değişen FDM kirişin statik analizi yapılabilir.

Kaynaklar

Alshorbagy, A. E., Eltaher, M. A., ve Mahmoud, F. F. (2011). Free vibration characteristics of a functionally graded beam by finite element method. *Applied Mathematical Modelling*, 35(1), 412–425. https://doi.org/10.1016/j.apm.2010.07.006

Vo, T. P., Thai, H. T., Nguyen, T. K., Maheri, A., ve Lee, J. (2014). Finite element model for vibration and buckling of functionally graded sandwich beams based on a refined shear deformation theory. *Engineering Structures*, 64, 12–22. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.01.029

Akbas, S. D. (2015). Post-buckling analysis of axially functionally graded three-dimensional beams. *International Journal of Applied Mechanics*, 7(3), 1–20. https://doi.org/10.1142/S1758825115500477

Kahya, V., ve Turan, M. (2017). Finite element model for vibration and buckling of functionally graded beams based on the first-order shear deformation theory. *Composites Part B: Engineering*, 109, 108–115. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.10.039

Kahya, V., ve Turan, M. (2018). Vibration and stability analysis of functionally graded sandwich beams by a multi-layer finite element. *Composites Part B: Engineering*, 146(April), 198–212. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.04.011

Katili, I., Syahril, T., ve Katili, A. M. (2020). Static and free vibration analysis of FGM beam based on unified and integrated of Timoshenko's theory. *Composite Structures*, 242, 112130. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112130

Akbaş, Ş. D. (2021). Forced vibration responses of axially functionally graded beams by using Ritz method. *Journal of Applied and Computational Mechanics*, 7(1), 109–115. https://doi.org/10.22055/jacm.2020.34865.2491

Wu, L., Wang, Q. S., ve Elishakoff, I. (2005). Semi-inverse method for axially functionally graded beams with an anti-symmetric vibration mode. *Journal of Sound and Vibration*, 284(3–5), 1190–1202. https://doi.org/10.1016/j.jsv.2004.08.038

Aydogdu, M. (2008). Semi-inverse method for vibration and buckling of axially functionally graded beams. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 27(7), 683–691. https://doi.org/10.1177/0731684407081369

Şimşek, M., Kocatürk, T., ve Akbaş, Ş. D. (2012). Dynamic behavior of an axially functionally graded beam under action of a moving harmonic load. *Composite Structures*, 94(8), 2358–2364. https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2012.03.020

Huang, Y., Zhang, M., ve Rong, H. (2016). Buckling analysis of axially functionally graded and non-uniform beams based on Timoshenko theory. *Acta Mechanica Solida Sinica*, 29(2), 200–207. https://doi.org/10.1016/S0894-9166(16)30108-2

Cao, D., Gao, Y., Yao, M., ve Zhang, W. (2018). Free vibration of axially functionally graded beams using the asymptotic development method. *Engineering Structures*, 173(June), 442–448. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.06.111

Karamanlı, A. (2018). Bending analysis of two directional functionally graded beams using a four-unknown shear and normal deformation theory. *Journal of Polytechnic*, 21(4), 861–874. https://doi.org/10.2339/politeknik.389616

Lee, J. W., ve Lee, J. Y. (2019). Contribution rates of normal and shear strain energies to the natural frequencies of functionally graded shear deformation beams. *Composites Part B: Engineering*, 159(July 2018), 86–104. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.09.050

Turan, M., ve Kahya, V. (2021). Free vibration and buckling analysis of functionally graded sandwich beams by Navier's method. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(2), 743–757. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.599928

Burdur Gölü Seviye Değişimlerinin İstatistiksel Analizi

Abdulkadir İBİŞ*[1,a], Zeliha SELEK[2,b], Murat PINARLIK[3,c]
[1]Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü(Teknoloji), 06560, Ankara
[2]Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06560, Ankara
[3]Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06560, Ankara

Öz

Türkiye, su kaynakları bakımından zengin bir coğrafyadadır. Ancak ülkemizdeki su kaynaklarında, iklim değişikliklerinin neden olduğu su seviye azalmaları meydana gelmektedir. Bu çalışmada, ülkemizin Isparta ve Burdur illeri arasında bulunan Burdur Gölü'nün seviye ve hacim değişimleri ile iklim parametreleri arasındaki değişimin istatistiksel analizi yapılmıştır. İstatistiksel analiz yöntemi olarak korelasyon analiz yöntemi kullanılmıştır. Burdur Gölü ve havzasında 1975-2020 yılları arasındaki iklim parametreleri incelendiğinde sıcaklık ve buharlaşmada zaman zaman azalmalar ve artmalar gözükse de uzun yıllık dönemde artış görülmüştür. Sıcaklık ve buharlaşmadaki artışta doğal olarak göl seviyesi ve hacminde azalmalara neden olmuştur. Uzun yıllık dönemdeki iklim parametrelerine bakıldığında sıcaklıkta ortalama olarak 2,03 °C artış, buharlaşmada %17,21 artış ve yağışta ise ortalama olarak %6 azalma tespit edilmiştir. Sıcaklık ile göl seviyesi ve hacmi arasındaki negatif yönlü orta derecede ilişki, buharlaşma ile göl seviyesi ve hacmi arasında negatif yönlü orta derecede ilişki, yağış ile göl seviyesi ve hacmi arasında ise negatif yönlü zayıf derecede anlam ilişkisi tespit edilmiştir. Göl seviyesi ve hacmindeki değişimlerin yağıştan ziyade buharlaşma ve sıcaklıktaki değişimlere bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar kelimeler: Buharlaşma, Burdur Gölü, İstatistiksel Analiz, Korelasyon, Sıcaklık, Yağış

Statistical Analysis Of Level Changes In Burdur Lake

Abdulkadir İBİŞ*[1,a], Zeliha SELEK[2,b], Murat PINARLIK[3,c]
[1]Gazi Üniversity, Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Civil Engineering Department (Technology), 06560, Ankara
[2]Gazi Üniversity, Technology Faculty, Civil Engineering Department, 06560, Ankara
[3]Gazi Üniversitesi, Technology Faculty, Civil Engineering Department, 06560, Ankara

Abstract

Turkey has a rich geography in point of water resources. However, water level reductions caused by climate changes occur in the water resources of our country. In this study, a statistical analysis was done of the change between the level and volume changes and climate parameters of Burdur Lake, which is located between isparta and Burdur provinces of our country, Correlation analysis method was used as statistical analysis method. When the climate parameters between 1975 and 2020 were examined in Burdur Lake and its basin, it was seen that temperature and evaporation increased over the long annual period, although decreases and increases appeared from time to time. The increase in temperature and evaporation naturally led to decreases in lake level and volume. When looking at the climate parameters were detected in the long annual period, as average increase of 2.03 °C in temperature, a 17.21% increase in evaporation and as average reduction of 6% in rain. A negative moderately relationship between temperature and lake level and volume, a negative moderatetly relationship between evaporation and the lake level and volume, and a negative weak meaning relationship between rain and lake level and volume were detected. It has been concluded that changes in lake level and volume depend on evaporation and changes in temperature rather than rainfall.

Key Words: Burdur Lake, Correlation, Evaporation, Precipitation, Statistical Analysis, Temperature

1. Giriş

Dünyadaki tüm canlı yaşamlarının devam edebilmesi için su vazgeçilmez bir kaynaktır(Yılmaz, 2015). Su yalnızca insan kullanımı için düşünülmemelidir aynı zamanda ekosistem bütünlüğü, ekonomik kalkınma, ulusal güvenliğin sağlanması, enerji üretimi içinde çok gerekli bir kaynaktır(Üzen vd. 2012). İnsanoğlunun varoluşundan bu yana medeniyetlerin ortaya çıkmasında ve gelişmesinde de su çok önemli bir yere sahip olmuştur. Medeniyete ev sahipliği yapmış olan bütün uygarlıklar, ilk yerleşim yerini su kaynaklarının yakınlarında seçmişler ve suyu endüstriyel olarak kullanmayı öğrendikten sonra kalkınmada öncü haline gelmişlerdir(Yılmaz vd. 2013). İnsanoğlu zaman geçtikçe suyu kullanmayı öğrenip, su kaynaklarından faydalandıkça dünyadaki değişimleri ve su kaynaklarındaki azalmayı görmüşlerdir ve su kaynaklarının azalmasına neden olan olayları incelemek istemiştir. İncelemeler sonucunda iklim değişikliklerindeki olayları fark etmiş ve iklim değişikliklerini incelemek için gerekli modeller geliştirmiş ve bu modeller sonucunda küresel sıcaklıklarda artış olduğunu anlamışlardır(Arslan, 2019).

Küresel ısınma, yağış değişkenliklerinin artmasına ve su sağlama üzerinde insanoğlunun hayatını devam ettirebilmesi için sıkıntı çıkaracak etkilere neden olmaktadır. Sonuç olarak küresel ısınmanın neden olacağı belirsizlikler toplum için ciddi sıkıntılara ve sorunlara yol açacaktır(Hoffman vd. 2007). Bu sebepten dolayı; insanoğlu küresel ısınmanın neden olacağı belirsizlik ve sorunlara çözüm önerileri getirmeye çalışmaktadır ancak belirsizlikler dolu bir süreç olduğu için getirilen çözüm önerilerinin işe yarayıp yaramayacağı bir soru işaretidir(Mendelshon vd. 1994).

Genel olarak dünyadaki kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarına göre ülkeler 3 sınıfa ayrılabilir. Kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı 2.000 m^3 ve üzerindeki ülkeler su zengini, 1.000-2.000 m^3 arasındaki ülkeler su sıkıntısı çeken ülkeler, 1.000 m^3 ve altındaki ülkeler ise su fakiri ülkeler olarak tanımlanmaktadır(Usta, 2016). Türkiye; üç tarafı denizlerle çevrilidir ve göl, nehir sayısı bakımından şanslı bir coğrafya üzerinde bulunmaktadır(Küçükyaman, 2010). Ancak ülkemizde kişi başına düşen yıllık kullanılabilir su miktarı ortalama olarak 1.519 m^3 civarında olduğu için Türkiye su sıkıntısı çeken ülkeler arasındadır(Aktaş, 2018).

Yapılan literatür araştırmaları sonucunda, küresel ısınmanın neden olduğu iklim değişiklikleri sonucunda göl parametrelerinde genel olarak azalmaların meydana geldiği görülmüştür. Göl parametrelerindeki azalmaların nedenlerinin öğrenilebilmesi için göl parametreleriyle beraber iklim parametrelerinden sıcaklık, yağış ve buharlaşma verilerinin beraber incelenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Göl parametreleri ve iklim parametreleri arasındaki ilişkileri incelemenin farklı yöntemleri mevcuttur. Kovada Gölü'nde seviye değişimlerinin istatistiksel analizi çeşitli programların sağladığı korelasyon analiziyle ve contour plot analizleri ile incelenmiştir(Bahadır, 2011). Van Gölü'ndeki seviye değişimlerinin iklim parametreleri ile ilişkisini excel programının sunduğu korelasyon ve regresyon formülleriyle incelenmiştir(Enginyürek, 2018). ICESat uydusundan ve Geoscience Lazer Altimetre sisteminden faydanalanarak Selin Co ve Nam Co göllerinin seviye değişiklikleri incelenmiştir(Zhang vd., 2010). Urmiye Gölü'ndeki su seviyesi değişiklikleri loess (STL) aracını, Pettitt ve Mann-Kendall testlerini kullanılarak incelenmiştir(Fathian vd. 2014). Burdur, Eğirdir, Sapanca ve Tuz Gölleri su seviyeleri nonparametrik istatistiksel yöntemler kullanılarak incelenmiştir(Göncü vd. 2017).

Bu çalışmanın amacı, Burdur Gölü'ndeki seviye ve hacim değişimlerinin meteorolojik açıdan ilişkisini ortaya koymaktır. Bu kapsamda ilk olarak Burdur Gölü'ne ait seviye, hacim, alan bilgileri ve Burdur İl'ine ait iklim parametreleri DSİ Rasatlar Şube Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. İkinci olarak havzadaki mevcut su tüketimleri göl parametrelerine eklenerek tüketimlerden arındırılmış göl parametreleri bulunmuştur. Göl parametreleri ve iklim parametreleri arasındaki ilişki istatistiksel analiz yöntemi olan korelasyon analizi ile incelenmiştir. Korelasyon analizi hesaplamaları ile ulaşılan korelasyon katsayıları yorumlanmıştır ve böylece analizler tamamlanmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

Çalışmada veri kaynakları olarak Burdur meteoroloji istasyonlarına ait sıcaklık, yağış ve buharlaşma parametreleri, Burdur Gölü'ne ait seviye ve hacim ölçüm değerleri, kullanılmıştır. Excel programı ile korelasyon analizleri yapılmış ve yorumlanmıştır.

İklim elemanlarındaki yıllar arasındaki değişikliklerle göl seviye ve hacim değerleri arasındaki ilişkileri ortaya koymak için korelasyon formülünden yararlanarak korelasyon analizleri uygulanmıştır. Korelasyon analizlerinin uygulanmasındaki amaç iklim değerleri ile göl seviye ve hacim değerleri arasındaki ilişkileri ve hangi derecede etkileşim içinde olduğunu ortaya koymaktır.

Korelasyon analizi değişkenler arasında ilişkinin bulunup bulunmadığını, eğer varsa bu ilişkinin yönünü ve gücünü belirlemek için kullanılan bir yöntemdir. Ancak korelasyon katsayısı değişkenler arasındaki nedensel ilişkiyi göstermez.

Değişik şekillerde hesaplanmakta olan ve değişik amaçlar için kullanılmakta olan korelasyon katsayıları bulunmaktadır. Pearson katsayısı da bunlardan bir tanesidir. Bir değişkenin değeri, diğer değişkenin değerleri ile doğrusal biçimde ilişkili ise ve değişkenler arasındaki ilişki düz bir doğru ile açıklanıyorsa değişkenler doğrusal ilişkilidir. Eğer iki değişken birbirinden tamamen bağımsız ve birbirini etkilemiyorsa, iki değişken arasında doğrusal ilişki yoktur denir. Pearson katsayısı, iki değişkenin de sürekli olmasını ve değişkenlerin normal dağılım göstermesini gerektirir.

Doğrusal korelasyonun hesaplanmasında Pearson korelasyonu kullanılır ve Pearson korelasyon katsayısı r ile gösterilir. Pearson korelasyonu katsayısının formülünün uygulanabilmesi için veriler en az aralıklı ölçekle toplanmalı ve süreklilik gösteren nicel bir değişken olmalıdır. Korelasyon katsayısı; r, n=gözlem sayısı, x ve y ise korelasyonu hesaplanacak değerler olmak üzere 1.1.'deki formül ile hesaplanır.

Korelasyon katsayısının değeri -1 ile +1 arasında değişir. Sonucun +1 çıkması iki değişken arasında çok yüksek olumlu ilişkinin bulunduğunu, -1 ise çok yüksek olumsuz ilişkinin bulunduğunu gösterir. Korelasyon katsayısı 0'a yaklaştıkça ilişkinin kuvveti zayıflar, sıfır ise iki değişken arasında doğrusal bir ilişkinin olmadığını gösterir(Terzi, 2018).

$$r=\frac{n(\Sigma xy)-(\Sigma x)(\Sigma y)}{\sqrt{[n(\Sigma x^2)-(\Sigma x)^2][(n(\Sigma y^2)-(\Sigma y)^2]]}} \quad (1)$$

Tablo 1. Korelasyon katsayısı değer aralıkları(Terzi,2018)

r (Korelasyon Değerleri)	
0,00-0,25	**Çok Zayıf**
0,26-0,49	**Zayıf**
0,50-0,69	**Orta**
0,70-0,89	**Yüksek**
0,90-1,00	**Çok Yüksek**

"Değişkenler arasındaki ilişki düzeyinin değerlendirilmesinde, ilgileşim katsayısı ile elde edilen sayının pozitif ya da negatif olması önemli değildir. Bu sayının mutlak değeri göz önünde bulundurulur. Değişkenler arasındaki ilişkinin düzeyi, korelasyon katsayısının 0-0.25 arasında olması durumunda çok zayıf, 0,26-0,49 arasında olması durumunda zayıf, 0.50-0.69 arasında olması durumunda orta, 0.70-0.89 arasında olması durumunda yüksek ve 0.90-1 arasında olması durumunda ise çok yüksek şeklinde yorumlanabilir(Çömlekçi, 1989; Orhunbilge, 1996; Kadılar, 2005).''

3. Çalışma Alanı

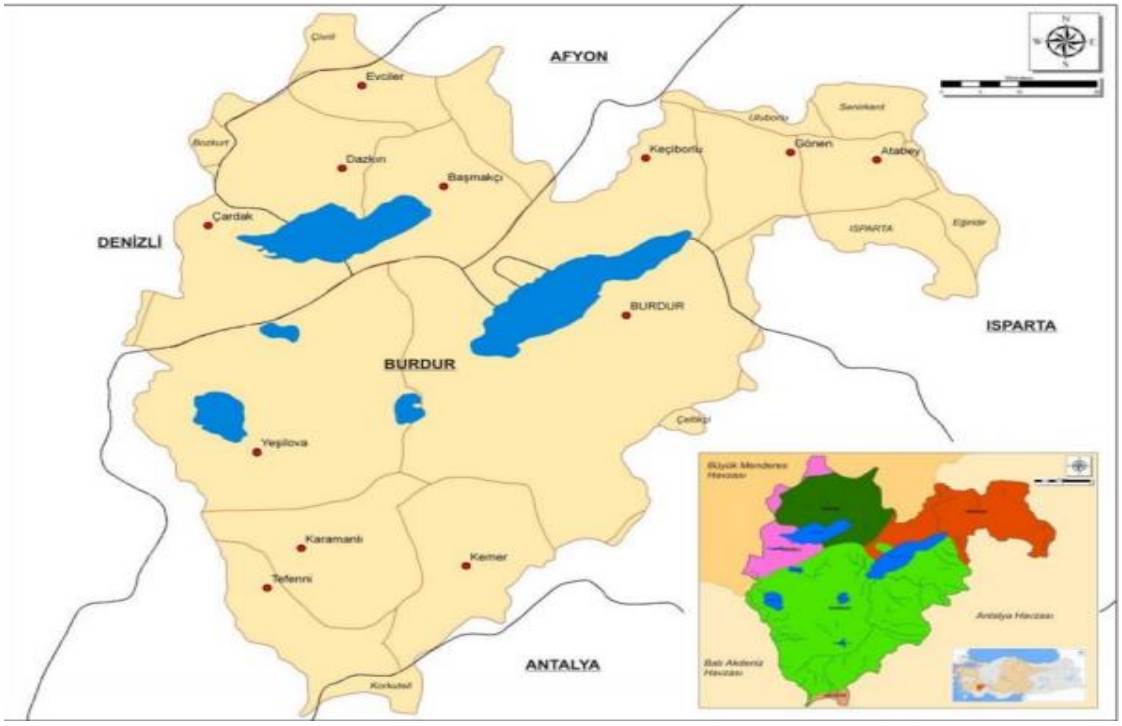
Çalışma alanı olarak Burdur Havzası ve yüksek lisans tez konusu olan Burdur Gölü incelenmiştir. Bu çalışmada incelenmiş olan Burdur Gölü'nün bulunduğu Burdur İl'ine ait iklim parametreleri incelendiğinde; uzun yıllık dönemde sıcaklığın 1975-2020 yılları arasında ortalama olarak 13,30 °C olduğu görülmüştür. En yüksek sıcaklık 15,10 °C ile 2010 yılında, en düşük sıcaklık ise 11,70 °C ile 1992 yılında görülmüştür. Buharlaşma verilerine bakıldığında en yüksek buharlaşma değeri 1547,50 mm ile 2007 yılında, en düşük buharlaşma değerinin ise 846,30 mm ile 1981 yılında olduğu görülmektedir. Son olarak yağış verilerine bakıldığında ise en fazla yağışın olduğu yıl 594,20 mm ile 2003, en az yağışın olduğu yıl ise 275,40 mm ile 2008 yılıdır. Uzun yıllık dönemdeki Burdur İl'ine ait iklim parametrelerindeki değişimler incelendiğinde bütün iklim parametrelerinde bir trendin bulunmadığı söylenebilir(DSİ Rasatlar Şube Müdürlüğü).

Burdur Gölü ülkemizde çok yağış almayan kapalı havzalardan birinde bulunmaktadır. İklim koşulları dikkate alınmadan ve planlamadan kapalı havzalara yapılan sulama yapıları ve sulama için kullanılan bu yapılar göl seviyelerinde ciddi problemlere neden olmaktadır. Burdur Gölü de iklim koşulları dikkate alınmadan ve planlanmadan yapılan su yapılarından ciddi anlamda etkilenmiştir(Ataol,2010). Burdur Gölü'nün 1975-2020 yılları arasındaki hacim verileri incelendiğinde hacminde ortalama olarak %39,64 azalma meydana gelmiştir. 1975-2020 yılları arasındaki göl seviyesi verileri incelendiğinde ise göl seviyesinde 15,41 m azalma meydana gelmiştir. Göl alanı ise 1975 yılında 223,96 km² iken 2020 yılında 137,49 km² olmuştur(DSİ Rasatlar Şube Müdürlüğü).

3.1. Burdur Gölü ve Havzası

Burdur Havzası Türkiye'nin güneybatı bölgesinde yer almaktadır. Havza en büyüğü Burdur Gölü olmak üzere Acı Göl, Salda Gölü, Akgöl, Yarışlı Gölü ve Karataş Göllerinin su toplama havzalarından meydana gelen alanı kapsamaktadır. Havza, batı bölgesinde Eşeler, Maymun Dağları, doğu bölgesinde Kestel, Çatak Dağları, güney bölgesinde Rahat, Koru Dağları ve kuzey bölgesinde Boz ve Akdağların su ayırım çizgileri arasında yer almaktadır.

Burdur Havzasının toplam yağış alanı 8.764 km² ve yıllık ortalama yağış yüksekliği ise 446 mm'dir. Havzanın yıllık ortalama akışı 7,94 m³/s, yıllık ortalama verimi 0,91 L/s/km³'tür. Son olarak havzadaki akışın yağışa oranı 0,06 iken, iştirak oranı %0,14'dür.Burdur Havzası genel olarak toplam 627.378 ha alanı kaplamaktadır ve ülkemizin genel yüzölçümünün %0.8'ini kapsamaktadır(TÜBİTAK MAM, Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Burdur Havzası, 2009).



Şekil 1. Burdur Havzası harita üzerindeki yerleşimi(TÜBİTAK MAM, Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Burdur Havzası, 2009)

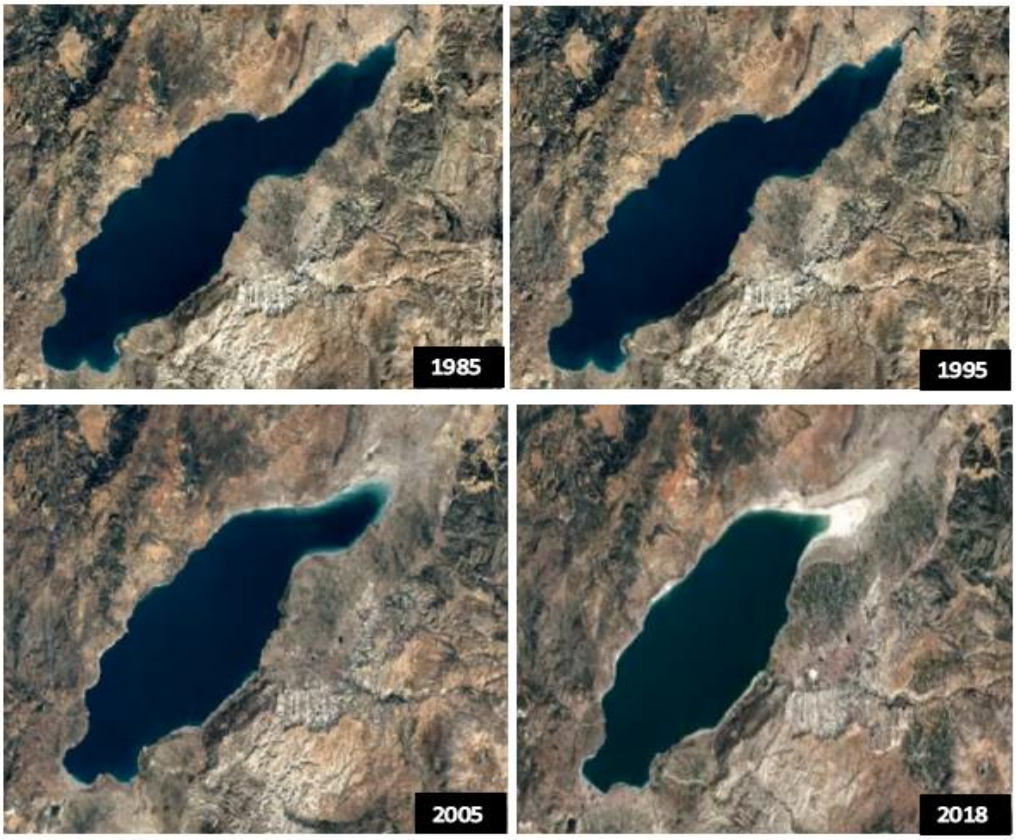
3.2. Burdur Gölü

Burdur Gölü, göller bölgesi göllerinden olup, Burdur ve Isparta illeri arasında yer almaktadır. Burdur Gölü'nün %16'sı Isparta, %84'ü Burdur il sınırlarında bulunmaktadır. Burdur Gölü yapı olarak tektonik ve ötrofikasyon açısından mezotrofik – ötrofik karakterdedir. Burdur Gölü'nü besleyen ana kaynaklar; Bozçay, Suludere ve Keçiborlu deresidir. Gölü besleyen derelerin önemli bir kısmı yazın kurumaktadır. Buna bağlı olarak yağışlı mevsimler su seviyeleri artmakta, buharlaşma nedeniyle de yaz aylarında azalmaktadır.

Tablo 2. Burdur Gölü parametreleri(DSİ Rasatlar Şube Müdürlüğü)

Su Seviyesi	**851,32 m**	**1959 Aralık**
Maks. Su Seviyesi	**857,54 m**	**1970 Mayıs**
Güncel Su Seviyesi	**839,70 m**	**2020 Aralık**
Güncel Yüzey Alanı	**122,53 km²**	**2020 Aralık**
Güncel Göl Hacmi	**4965,40 hm³**	**2020 Aralık**

Burdur Gölü'ne ait 1985, 1995, 2005 ve 2018 yıllarındaki uydu görüntülerine bakıldığında göl seviyesindeki çekilme açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 2. Burdur Gölü'nün 1985, 1995, 2005, 2018 uydu görüntüleri (earthengine.google.com/timelapse)

4. Bulgular ve Tartışma

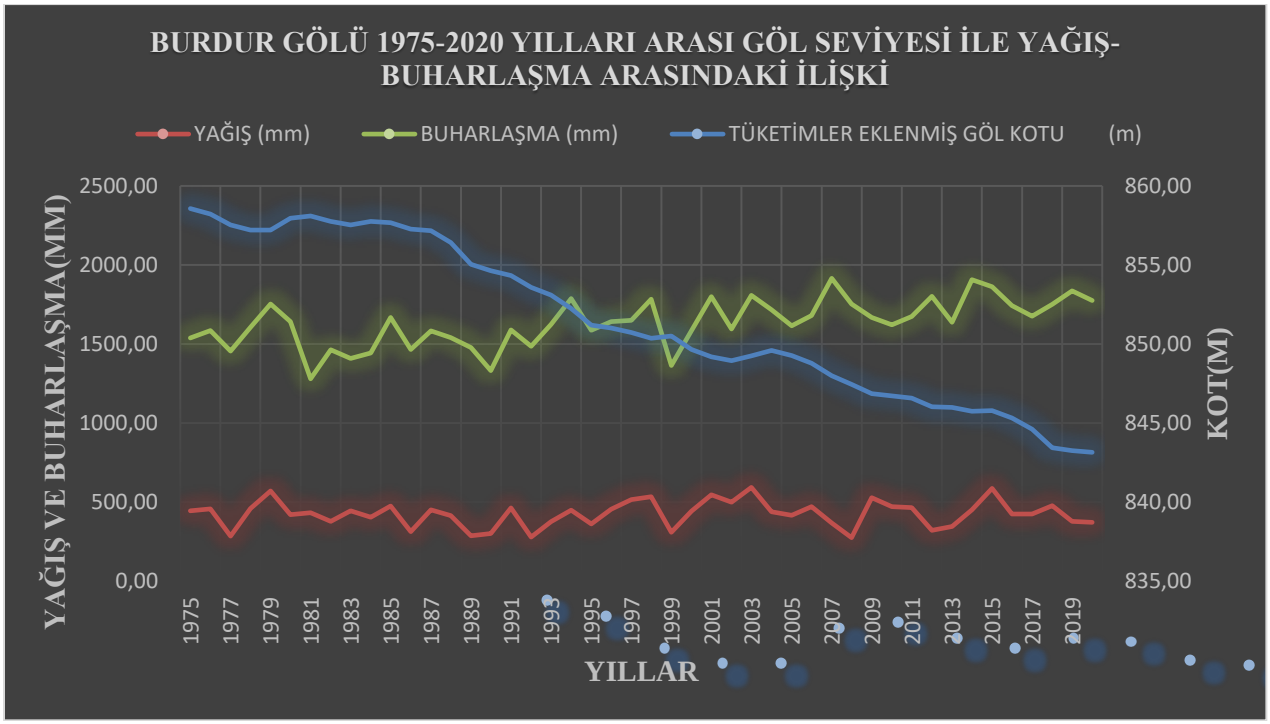
Excel üzerinde korelasyon formülü kullanılarak hesaplamalar yapıldıktan sonra göl parametreleri ile iklim parametreleri arasındaki korelasyon katsayıları Tablo 3.'de görülmektedir:

Tablo 3. Hesaplanan korelasyon katsayıları

Göl Seviyesi – Sıcaklık Arasındaki Korelasyon Katsayısı	**-0,5438**
Göl Seviyesi – Buharlaşma Arasındaki Korelasyon Katsayısı	**-0,6452**
Göl Seviyesi – Yağış Arasındaki Korelasyon Katsayısı	**-0,1066**
Göl Hacmi – Sıcaklık Arasındaki Korelasyon Katsayısı	**-0,5306**
Göl Hacmi – Buharlaşma Arasındaki Korelasyon Katsayısı	**-0,6367**
Göl Hacmi – Yağış Arasındaki Korelasyon Katsayısı	**-0,1157**

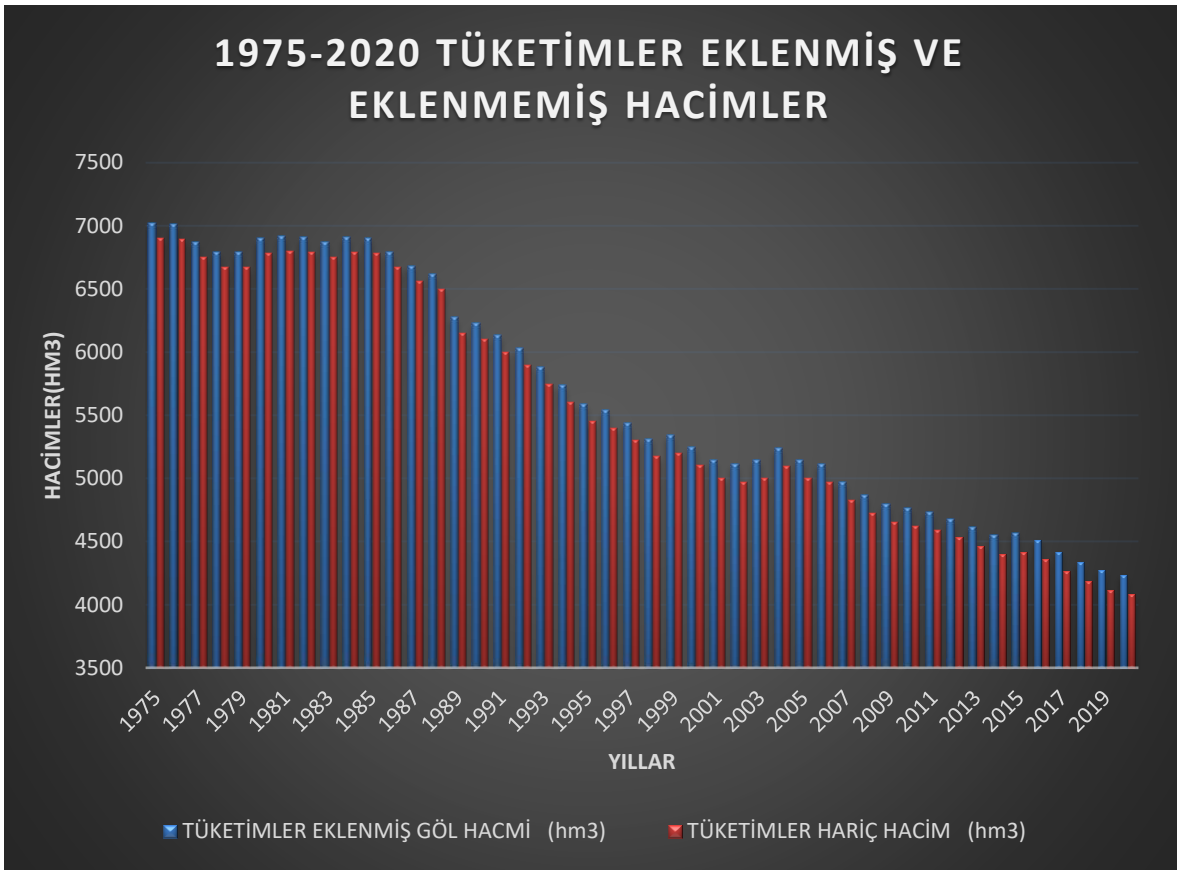
Şekil 3.' de belirtilen grafikte Burdur Gölü 1975-2020 yılları arası göl seviyesi ile yağış ve buharlaşma arasındaki ilişki görülmektedir. Grafikte görüldüğü gibi, buharlaşma uzun zaman içerisinde genel bir artma ya da azalma eğilimi içerisine girmemiştir; ancak periyot başlangıcına göre buharlaşma artmıştır. Periyodun başlangıç yıllarında buharlaşma ortalama 1143,52 mm değerlerinde iken periyodun son yıllarında ortalama 1340,31 mm'dir. Yağış için aynı yorum yapılamamaktadır; çünkü grafikten de

anlaşılacağı gibi uzun yıllık dönemde yağışın artma ve azalma eğilimi sürekli değişmiştir. Periyodun başlangıç yıllarında yağış ortalama olarak 444,42 mm iken periyodun ortalarında 505,48 mm, son yıllarında ise ortalama 416,71 mm'dir. Göl seviyesindeki değişim incelendiğinde ise sürekli bir azalma eğilimi içerisindedir. Göl seviyesi periyodun başlangıç yıllarında ortalama 857,76 m, ortalarında 850,09 mm ve son yıllarında ise ortalama 843,97 m'dir. Genel olarak göl seviyesindeki bu azalma buharlaşmadaki ve sıcaklıktaki artışa bağlıdır; çünkü yağışın arttığı dönemlerde bile yağış miktarı buharlaşma miktarının altında kalmıştır.



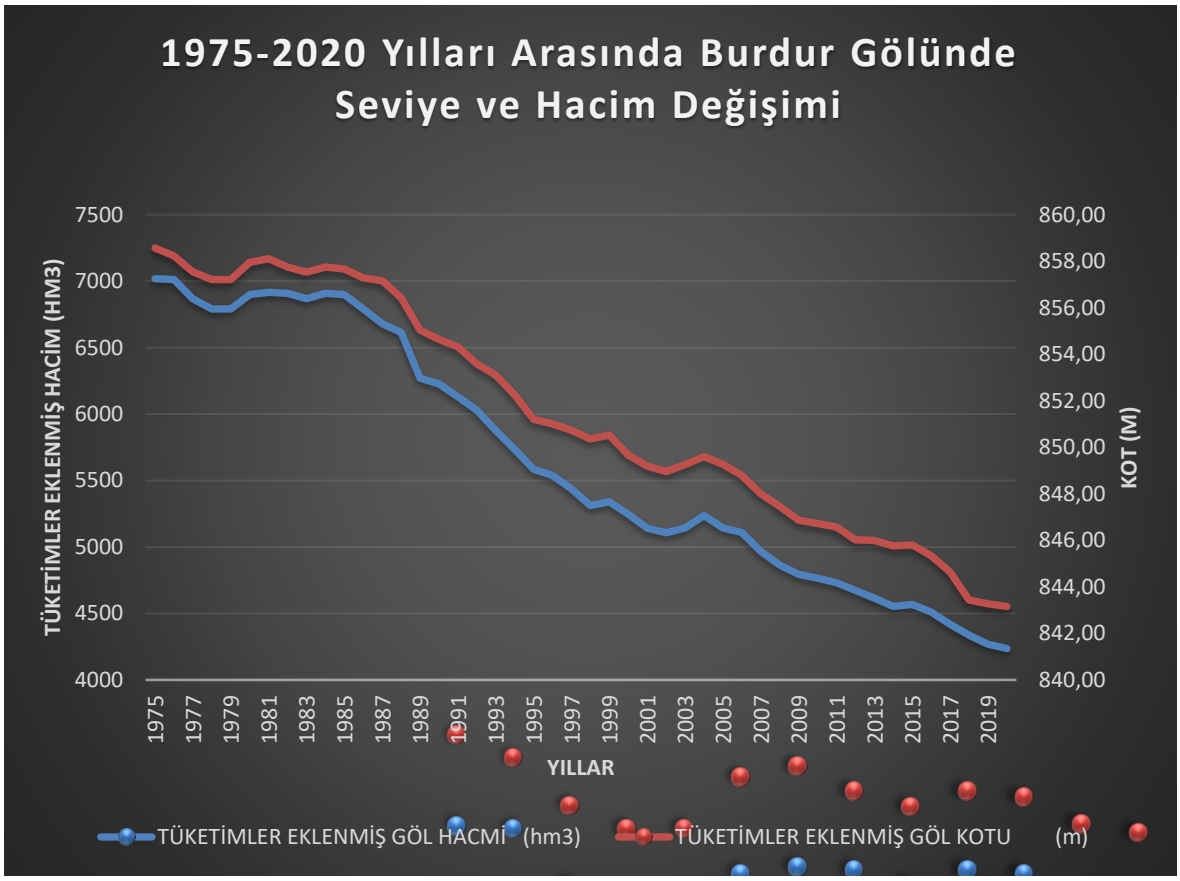
Şekil 3. Burdur Gölü seviyesi – yağış ve buharlaşma arasındaki ilişki (1975-2020)

Şekil 4.'de belirtilen grafikte 1975-2020 yılları arasındaki göl hacmindeki değişimler görülmektedir. Net mevcut su tüketiminin eklenmesi ile oluşan göl hacimleri ile tüketimlerin eklenmemiş olduğu göl hacimleri arasındaki fark açık bir şekilde anlaşılmaktadır. Grafikten de anlaşılacağı gibi net mevcut su tüketiminin göl hacimlerinde önemli bir yere sahip olduğu söylenebilir. Göl hacmi en yüksek seviyesine 1975-1977 yılları arasında çıkmışken, zamanla bir azalma trendi içine girmesine rağmen 1985-1986 yılları arasında geri yükselmeler olmuştur. İlerleyen 2000'li yılların içerisinde benzer olayların olduğu görülmektedir. Göl hacmi ve göl seviyesi arasındaki azalmaların net bir şekilde anlaşılabilmesi için Şekil 5.'de belirtilen grafik oluşturulmuştur.



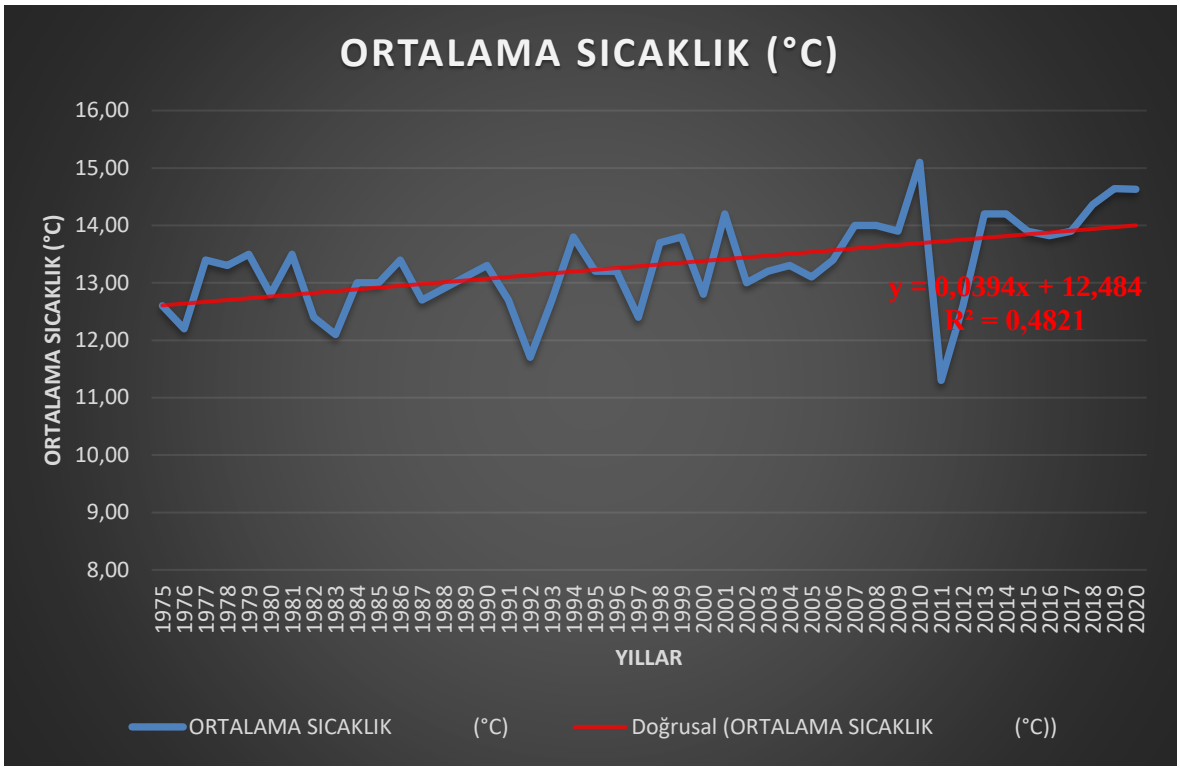
Şekil 4. Burdur Gölü hacmindeki değişimler (1975-2020)

Şekil 5. 'de belirtilen grafikte görüldüğü gibi 1975-2020 yılları arasında göl seviyesi ve göl hacmindeki azalmalar ve azalma trendi açık bir şekilde görülmektedir. Periyodun başlangıç yıllarında göl seviyesi ortalama 857,76 m iken son yıllarında göl seviyesi ortalama 843,09 m'ye düşmüştür, periyodun ortalarında ise ortalama 850,09 m'dir. Göl seviyesindeki maksimum değerin 858,57 m ile 1975 yılında, minimum değerin ise 843,16 m ile 2020 yılında olması azalmadaki trendi daha açık şekilde anlaşılır kılmaktadır. Göl seviyesindeki azalış periyodun başlangıç yılından sonlarına doğru ortalama %1,71 çıkmaktadır. Periyodun başlangıç yıllarında göl hacmi ortalama 6896,33 hm^3 iken son yıllarında göl hacmi 4354,19 hm^3'e düşmüştür, periyodun ortalarında ise ortalama 5296,00 hm^3'dür. Göl hacmindeki azalış periyodun başlangıç yılından sonralarına doğru ortalama %36,86 çıkmaktadır. Uzun yıllık dönemde bazı yıllarda göl seviyesi ve hacmi önceki yıllara göre artış gösterse bile genel olarak göl seviyesi ve hacmindeki azalmanın önüne geçilemediği açık bir şekilde anlaşılmaktadır.



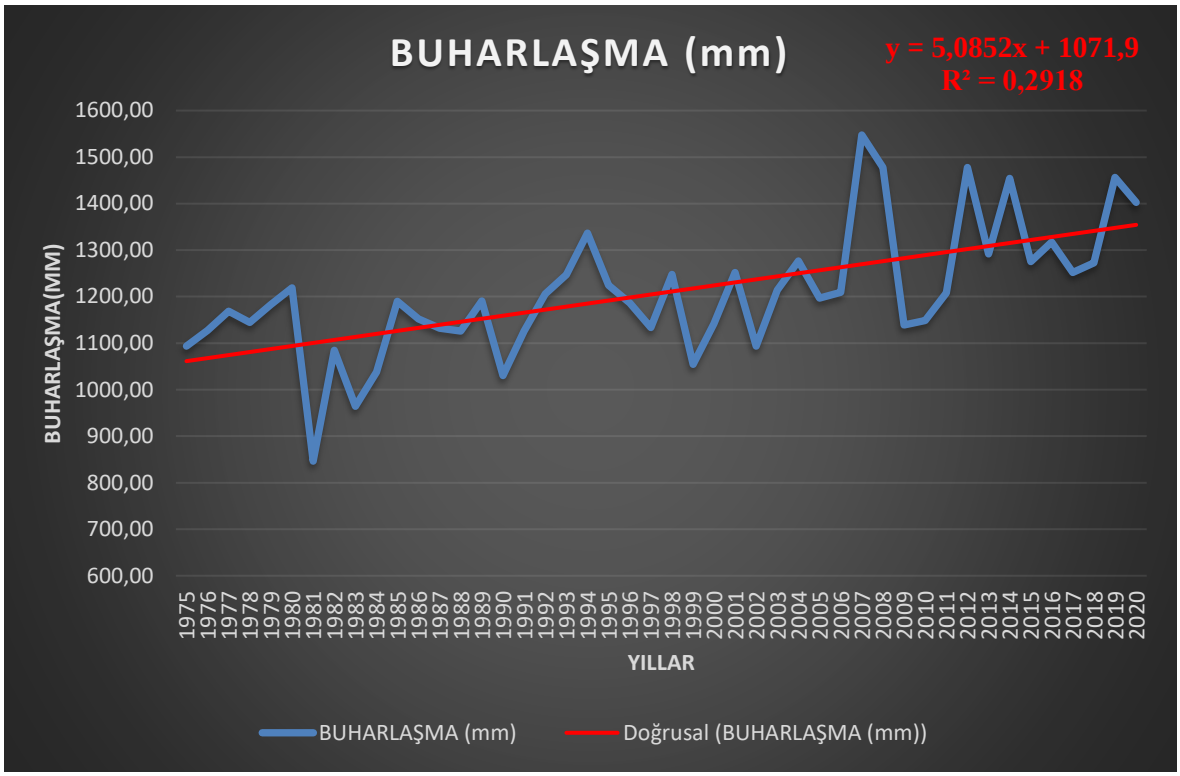
Şekil 5. Burdur Gölü seviyesindeki ve hacmindeki azalmalar (1975-2020)

Şekil 6.'da belirtilen grafikten Burdur İline ait 1975-2020 yılları arasındaki ortalama sıcaklık değişimleri incelendiğinde uzun yıllık dönemde sıcaklığın ortalama 13,30 °C çıktığı görülmektedir. En yüksek sıcaklık 15,10 °C ile 2010 yılında görülmüştür. En düşük sıcaklık ise 11,70 °C ile 1992 yılında görülmüştür. Genel olarak ülke genelinde en soğuk yıl 1992 yılında gözlemlenmiştir, elimizdeki verilerle de bu bilgi örtüşmektedir. İstatistiksel korelasyon analizlerine göre göl seviyesi ile sıcaklık arasında (-0,5438) negatif yönlü orta derecede anlam ilişkisi olduğu görülmektedir. Göl hacmi ile sıcaklık arasındaki korelasyon incelendiğinde (-0,5306) negatif yönlü orta derecede anlam ilişkisi olduğu görülmektedir.



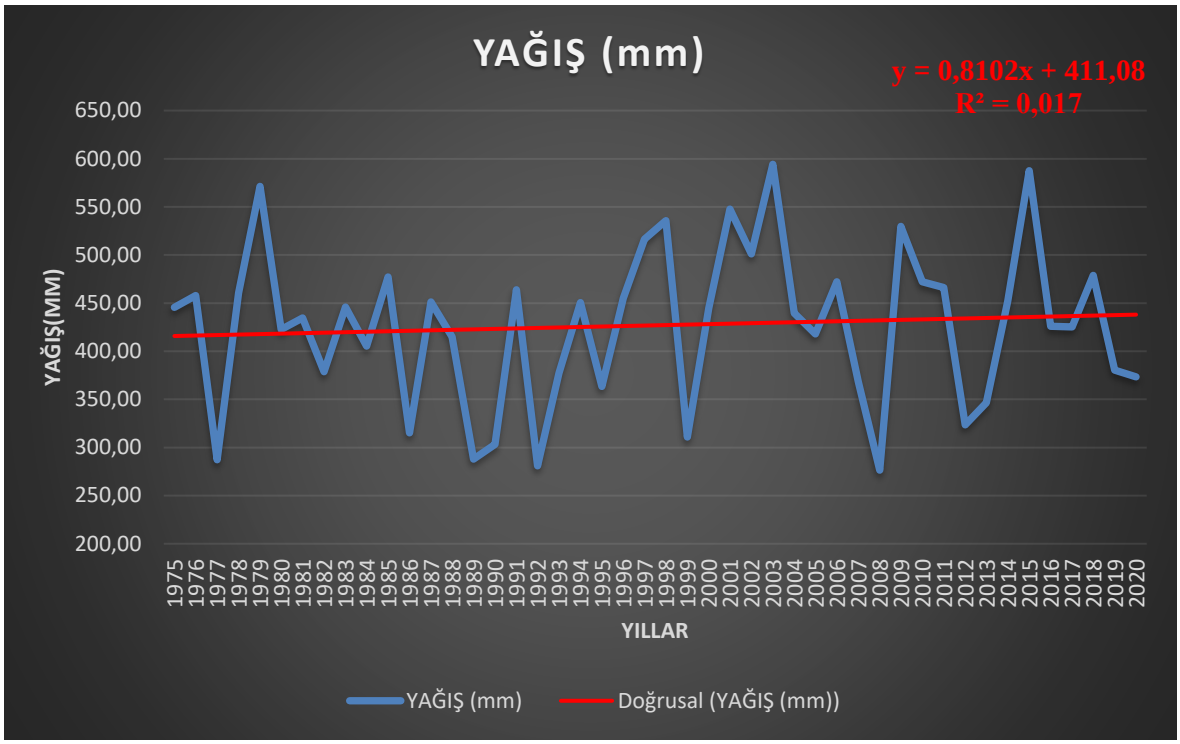
Şekil 6. Burdur Gölü ortalama sıcaklık değişimleri (1975-2020)

Şekil 7. 'de belirtilen Burdur İline ait buharlaşma değerlerinin uzun yıllık değişimlerine bakıldığında sıcaklık ile bir ilişkisi olduğu görülmektedir. Teorikte de sıcaklık arttıkça buharlaşmanın artmasının beklenmesi doğaldır. En yüksek buharlaşma değerinin 1547,60 mm ile 2007 yılında olduğu görülmektedir, 2007 yılından sonra buharlaşma değerlerinde azalma görülse bile son 3 yılda yüksek buharlaşma değerlerine çıktığı görülmektedir. Buharlaşmadaki artış periyodun ilk yıllarından sonlarına doğru ortalama %17,21 çıkmaktadır. İstatistiksel korelasyon analizlerine göre göl seviyesi ile buharlaşma arasında (-0,6452) negatif yönlü orta derecede anlam ilişkisi olduğu görülmektedir. Göl hacmi ile buharlaşma arasındaki korelasyon incelendiğinde ise (-0,6367) negatif yönlü orta derecede anlam ilişkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Burdur Gölü buharlaşma değerleri (1975-2020)

Şekil 8.'de belirtilen grafikten Burdur iline ait yağış verilerinin uzun yıllık değişimine bakıldığında sürekli bir artma ya da azalma trendi içinde olmadığı net bir şekilde görülmektedir. En fazla yağışın olduğu yıl 594,20 mm ile 2003 yılıdır. En az yağışın olduğu yıl ise 276,40 mm ile 2008 yılıdır. Periyodun başlangıç yıllarında yağış ortalama olarak 444,42 mm iken periyodun ortalarında 505,48 mm, son yıllarında ise ortalama 416,71 mm'dir. Periyodun ilk yıllarına ve son yıllara göre yağıştaki azalma miktarı ortalama olarak %6 çıkmaktadır. Son 5 yıl incelendiğinde yağışın bir azalma eğilimi içine girmiştir, ancak bir trend bulunmadığı için ilerleyen yıllar için bir tahmin yapmanın zor olduğu söylenebilir. İstatistiksel korelasyon analizlerine göre göl seviyesi ile yağış arasında (-0.1066) negatif yönlü çok zayıf derecede anlam ilişkisi olduğu görülmektedir. Göl hacmi ile yağış arasındaki korelasyon incelendiğinde ise (-0.1157) negatif yönlü çok zayıf derecede anlam ilişkisi olduğu söylenebilir. Normal şartlarda yağış ile göl parametreleri arasındaki korelasyon analizinin yüksek derecede anlam ilişkisi içinde olması beklenebilirdi ancak yağış verilerindeki düzensizlik, göl parametreleri ile arasındaki korelasyon analizinin zayıf derecede anlam ilişkisinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır.



Şekil 8. Burdur Gölü yağış verileri (1975-2020)

5. Sonuçlar

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü elde edilen veriler doğrultusunda Burdur Gölü parametreleri ile iklim parametreleri arasındaki etkileşimi gösterebilmek için istatistiksel analiz yöntemi olan korelasyon analizi 1975-2020 yılları arası için uygulanmıştır.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan 1975-2020 yılları arasındaki göl seviyesi verilerine göre, periyodun başlangıç yıllarında göl seviyesi ortalama 857,76 m, son yıllarında göl seviyesi ortalama 843,09 m'ye düşmüştür. Göl seviyesindeki maksimum değer 1975 yılında 858,57 m, minimum değer ise 2020 yılında 843,16 m ile görülmüştür.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden alınan 1975-2020 yılları arasındaki göl hacmi verilerine göre, periyodun başlangıç yıllarında göl hacmi ortalama 6896,33 hm^3, son yıllarında ise ortalama 4354,19 hm^3 olarak görülmektedir. Göl seviyesi ve hacmindeki azalma trendi eldeki verilere göre net bir şekilde görülmektedir.

Yapılan korelasyon analizleri sonucunda göl seviyesi ile sıcaklık arasında (-0,5438) negatif yönlü orta derecede anlam ilişkisi tespit edilmiştir. Göl seviyesi ile buharlaşma arasında (-0,6452) negatif yönlü orta derecede anlam ilişkisi tespit edilmiştir. Göl seviyesi ile yağış arasında (-0,1066) negatif yönlü çok zayıf derecede anlam ilişkisi tespit edilmiştir.

Yapılan korelasyon analizleri sonucunda göl hacmi ile sıcaklık arasında (-0,5306) negatif yönlü orta derecede anlam ilişkisi tespit edilmiştir. Göl hacmi ile buharlaşma arasında (-0,6367) negatif yönlü orta derecede anlam ilişkisi tespit edilmiştir. Göl hacmi ile yağış arasında (-0,1157) negatif yönlü çok zayıf derecede anlam ilişkisi tespit edilmiştir.

Ülkemizin nadir göllerinden biri olan Burdur Gölü'ndeki azalmanın önüne geçilebilmesi için;

- Belgesiz kuyular kontrol altına alınabilir,
- Kayıp-kaçak oranlar düşürülebilir,
- Yerüstü sulamaları yerine yeraltı sulamaları tercih edilebilir, ağaçlandırma çalışmaları yapılabilir,

- Göldeki en önemli kayıp sebeplerinden biri olan buharlaşmanın önüne geçilebilmesi için gerekli çalışmalar geliştirilebilir
- Son olarak OSB'de yer alan sektörlerin daha az su kullanması için projeler gerçekleştirilebilir.

Kaynaklar

Yılmaz, A. (2015). Küresel ısınmanın dünya su rezervleri üzerindeki etkileri, *Kent Akademisi, 8*(2), 63-72.

Üzen, N. ve Çetin, Ö. (2012) Geçmişten günümüze su ve sulama yöntemi, *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 1*(2), 281-290.

Yılmaz, M. ve Peker, H. (2013), Su kaynaklarının Türkiye açısından ekono-politik önemi ekseninde olası bir tehlike: su savaşları, *Çankırı Karatekin Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, *3*(1), 57-74.

Arslan, C. (2019). *Burdur alt havzası entegre su kaynakları yönetiminin belirlenmesinde WEAP (Water Evaluation And Planning System) modelinin kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Ataol, M. (2010). *Burdur Gölü Havzası için yeni bir su yönetim modeli önerisi*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.

Kadılar, C. (2005). *SPSS Uygulamalı Zaman Serileri Analizine Giriş*, Ankara, Bizim Büro Basımevi.

Çömlekçi, N. (1989), *Temel İstatistik İlke ve Teknikleri*, Eskişehir, Bilim Teknik Yayınevi

İnternet: URL:earthengine.google.com, Erişim Tarihi 21.02.2021

Orhunbilge, N. (1996). Uygulamalı Regresyon ve Korelasyon Analizi, İ.Ü. İşletme Fakültesi, No:267, İstanbul

Terzi, Y. (2018). Temel İstatistik II Ders Notları [Powerpoint Slaytları]. Erişim adresi http://ist.fef.omu.edu.tr/tr/hakkimizda/ders-notlari/TEMEL%20%C4%B0ST%20II-2018.pdf

T.C. Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi Çevre Enstitüsü. (2009). *Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması-Burdur Havzası*, Kocaeli

DSİ Rasatlar Şube Müdürlüğü. (2020). *Burdur Gölü Parametreleri ve Burdur Meteoroloji Parametreleri, Ankara*.

Hoffman G.J., Evans, R.G., (2007). Introduction, Chapter 1, *in Design an Operation of Farm Irrigration Systems Amer. Soc. Of Agricultural and Biological Engineers*, 1-32.

Mendelsohn, R., Nordhaus, W.D., Shaw. D., 1994. *The impact of global warning on agriculture: A ricardian analysis. American Economic Review, 84*(4): 753-771.

Usta, A. (2016). *Türkiye'nin Su Potansiyelinin Belirlenmesi Üzerine Bir Araştırma, Küresel Mühendislik Çalışmaları Dergisi*, *3*(2), 01-09.

Küçükyaman, D. (2010). *Kovada Gölü'nün Hidrolojik ve Meteorolojik Kuraklık Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Aktaş, S. (2018), *Eğirdir Gölü Beslenme Havzası ve Gölün Geleceği*, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Enginyürek, M. (2018). *Van Gölü Kapalı Havzasında Yağış-Akım Analizleri ve Göl Seviye Değişimi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Elazığ.

Bahadır, M. (2011). Kovada Gölü'nde Seviye Değişimlerinin İstatistiksel Analizi, *Turkish Studies. International Periodical For The Languages, Terature And History Of Turkish Or Turkie, 7*(3), 441-452.

G. Zhang, H. Xie and Minqiang Zhu. (2010). Water level changes of two Tibetan lakes Nam Co and Selin Co from ICESat altimetry data, *2010 Second IITA International Conference on Geoscience and Remote Sensing*, Qingdao, China, 463-466.

Fathian, Farshad & Dehghan, Zohreh & Eslamian, Saeid. (2014). Analysis of water level changes in Lake Urmia based on data characteristics and non-parametric test. *Int. J. Hydrology Science and Technology*. 4. 10.1504/IJHST.2014.064398.

Göncü, S., Albek, E. A., Albek, M., (2017). *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *17*(2), 555-558, Afyon.

Soil-Structure Interaction Effects on Dynamic Behavior of a Box Culvert

Kasif Furkan OZTURK*[1,a], Tufan CAKIR[1,b], Onur ARAZ[1,c], Osman KARA[1,d]
[1]*Gümüşhane University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Department of Civil Engineering, 29100, Gümüşhane*

Abstract

It has been observed that in many earthquakes during the last three decades, buried/underground structures may be subjected to serious structural damage. Moreover, the seismic characteristics of the soil-structure interaction (SSI) system are different from the fixed-base structure due to the increased number of freedoms. In this context, the dynamic behavior of a culvert structure considering SSI has been examined within the scope of the study. The modeling of large-scale soil and reinforced concrete box culvert structures by using the finite element method (FEM) is the most commonly used numerical approach for research purposes. On the other hand, consideration the SSI in an accurate manner in the FEM constitutes a challenging problem due to the computational time and complexity. A three-dimensional (3-D) SSI model with viscous boundary is formed by using the program ANSYS. The box culvert is assumed to behave linearly, and thus linear elastic material model is used to simulate its response. The soil response is expected to cover a range of elastic and plastic deformations, and hence the Drucker-Prager material model is used to represent its nonlinear behavior. Full transient parametric analyses are performed for four different foundation soil systems, and Parkfield excitation is considered in the analyses. Dynamic response of the SSI system is evaluated in terms of the peak stresses and displacements based on the time history analyses. Also, variations in dynamic racking behavior along the culvert height are comparatively shown for different soil systems. Based on the numerical findings, it is concluded that the SSI may change the system response depending on the relative stiffness between the soil and structure, and ignoring the SSI effects may result in unrealistic results of the seismic responses of the superstructure.

Keywords: ANSYS, Box Culvert, Finite Element Method, Soil-Structure Interaction

1. Introduction

Generally thought of as buried structures, culverts offer services in engineering fields to eliminate many infrastructure problems today. Such critical structures are of great importance to be used after an earthquake, especially in order to provide rural and urban transportation connections. In line with the observations and researches made, the thought regarding the safety of buried structures until the early 1990s was that such structures were almost not damaged under the effects of earthquakes. This perception has changed significantly with major earthquakes such as the 1995 Hyoken-Nambu, 1999 Chi-Chi, 1999 Düzce, and 2008 Wenchuan earthquakes that caused serious damage to underground structures. The causes of these damages can vary directly or indirectly depending on the earthquake features (Iida et al., 1996; Owen and Scholl, 1981; Sharma and Judd, 1991; Wood, 2007; Youd and Beckman, 1996).

Earthquake-induced damages have been emphasized by many researchers that the seismic design of underground structures can vary depending on many parameters such as soil rigidity, soil amplification, structure stiffness, earthquake frequency content, earthquake surface acceleration, distance to the earthquake center, and soil-structure interaction (Hashash et al., 2001; Pitilakis and Tsinidis, 2014; Wang, 1993). The methods used in the seismic design of partially or completely buried structures such as culverts, tunnels, underground reservoir structures and pipe structures can be roughly grouped under two headings as analytical and numerical methods. Analytical approaches can offer practical solutions by making simple assumptions to the nature of the problem (Bobet, 2003, 2010; Bobet et al., 2008; Park et al., 2009; Penzien, 2000; Penzien and Wu, 1998; St John and Zahrah, 1987; Wang, 1993; Yang et al.,

2020). On the other hand, since the simplifying assumptions do not take into account many factors such as fault rupturing, ground amplification effect, nonlinear behavior of materials, wave propagation effect, they may sometimes remain far from producing results that are more realistic. Expressed deficiencies can be easily overcome by using numerical solutions such as finite difference or finite element method, and comprehensive analyses can be realized (Anastasopoulos et al., 2007, 2008; Debiasi et al., 2013; Huang et al., 2020; Konstandakopoulou et al., 2021; Kontoe et al., 2011; Sandoval and Bobet, 2020; Tsinidis, 2017; Tsinidis and Pitilakis, 2018; Yu and Wang, 2021).

This paper focuses on changes in dynamic behavior of a box culvert having wing wall. In this context, four different foundation soil systems have been considered by keeping constant the properties of backfill soil system. Full transient time history analyses have been fulfilled using 1966 Parkfield earthquake. The results are presented comparatively in terms of peak stresses in three directions and peak displacements at the top of the culvert for different soil conditions. In addition, changes in dynamic racking behavior of culvert have been shown depending on the wall height. Investigations indicate that the soil structure interaction can significantly alter both the displacement of the culvert and the internal forces.

2. Soil-Structure Interaction System and Model Details

Soil-structure interaction is a complex problem due to the need to consider many effects in coordination. These effects can be easily taken into account with the help of finite element method. In this context, soil-structure interaction system has been formed by using ANSYS package software (2015). The proposed numerical model has been presented in Figure 1. Structural system also has wing walls, and dimensions of the culvert and wing wall considered have been shown in Figure 2.

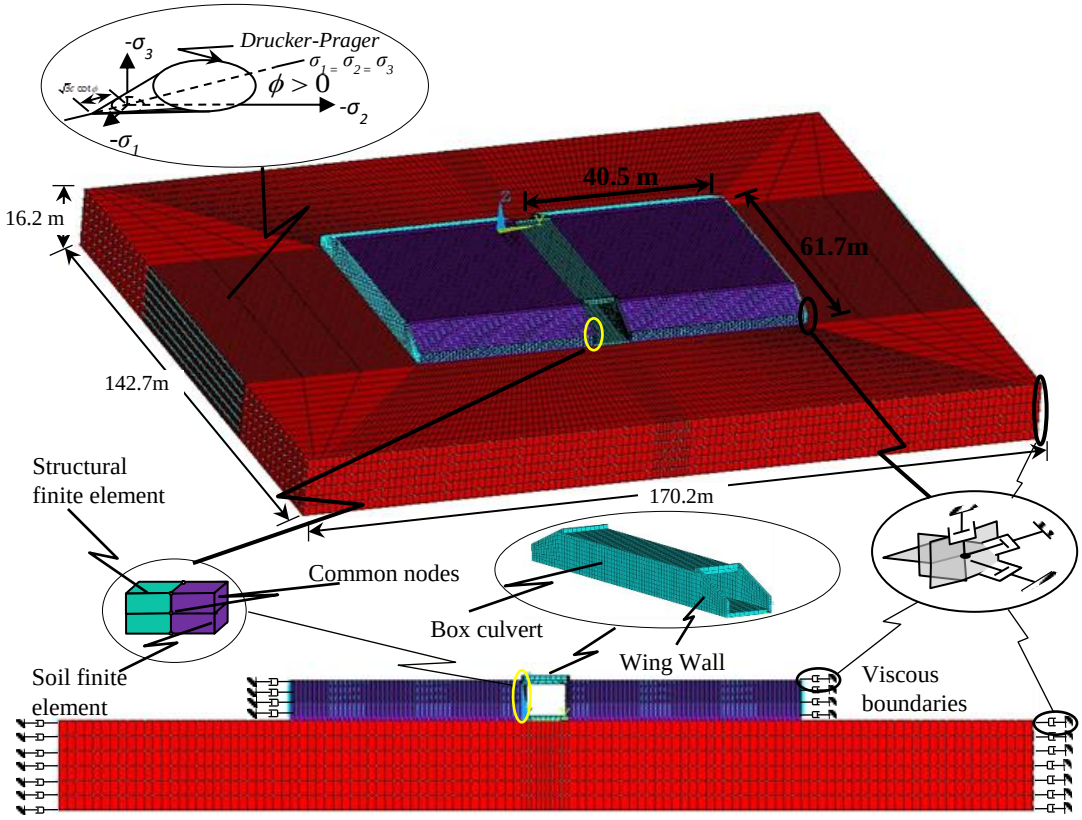


Figure 1. Details of numerical model

Numerical model has been consisted of backfill/structure/foundation soil systems formed by using solid elements. SOLID65 element type for structure system has been preferred due to crushing capabilities under compression and cracking in tension. Backfill and foundation soil systems are considered with SOLID45 element type, and this element type supports plasticity, creep swelling, stress stiffening, large deflection and large strain capabilities.

Selecting correct boundaries for model is very important issue if elementary boundaries are to be used in numerical model, otherwise boundaries can produce serious errors due to box effect. Another approach is to consider the volume of the numerical model in two parts as near field and far field. The near field exhibit the nonlinear soil behavior due to motion of foundation while far field act linear under loading. In these regards, the near field of numerical model is represented with respectively 5H and 10H lengths for backfill and foundation soil system (Mahjoubi and Maleki, 2020; Shamsabadi et al., 2010). Drucker-Prager material model is used for nonlinear behavior of backfill and foundation soil system. On the other hand, the far field of numerical model is reflected using viscous boundaries proposed by Lysmer and Kuhlemeyer (1969).

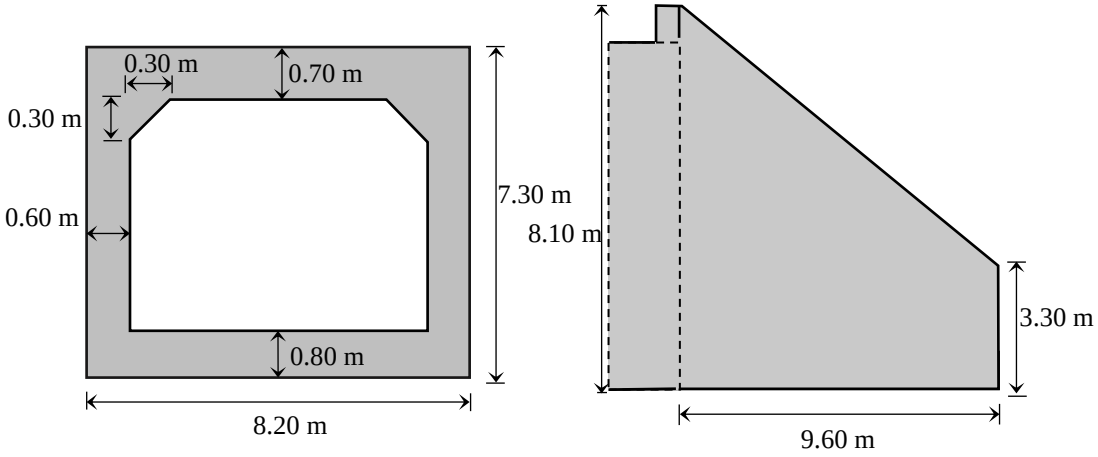


Figure 2. Dimensions of structure system

3. Seismic Loading for Soil-Structure Interaction System

Seismic analyses where C05085 component of Parkfield earthquake is considered are performed as full transient for four different soil systems. Time history of earthquake record obtained from ground motion database of Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center (2021) have been presented in Figure 3. Properties of foundation soil system considered are shown in Table 1. In addition, Young's modulus, Poisson's ratio, weight per unit volume, cohesion and internal friction angle of the backfill soil are accepted as 100 MPa, 0.30, 19 kN/m^3, 25 kPa and 20° , respectively. Young's modulus, Poisson's ratio and weight per unit volume of culvert structure are 30000 MPa, 0.2 and 25 kN/m^3, respectively.

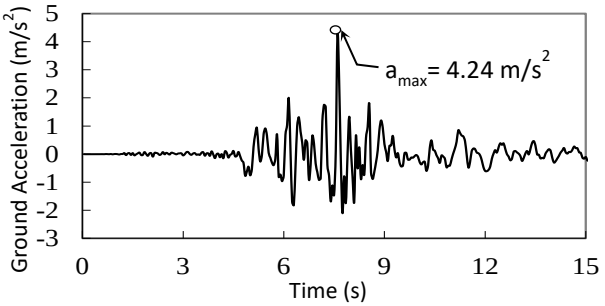


Figure 3. 1966 Parkfield earthquake

Table 1. Soil properties considered for foundation soil system

Soil System	E, kN/m^2	G, kN/m^2	c, kN/m^2	ν	ϕ(°)	ψ(°)	γ, kN/m^3	v_s, m/s	v_p, m/s

S1	200000	76923	25	0.30	20	0	19	201.21	376.43
S2	150000	57692	25	0.30	20	0	19	174.25	326.00
S3	75000	27778	25	0.35	20	0	18	124.23	258.60
S4	50000	18519	25	0.35	20	0	18	101.43	211.14

E: Young's Modulus, c: Cohesion, G: Shear Modulus, ν: Poisson's ratio, ϕ: Internal friction angle, ψ: Dilatancy angle, γ: Weight per unit volume, v_s : Shear wave velocity, v_p : Compressional wave velocity

Soil-structure system involves two damping types. The first of them is geometric or radiation damping. For the wave propagating in the soil medium, this damping is directly related to the propagation distance. The other damping type is called as material damping which is caused by the hysteretic energy loss of the soil. Numerical model tries to reflect geometric damping with dimensions and viscous boundaries. On the other hand, material damping can be handled using Rayleigh damping. Although same damping ratio for practical applications can be preferred, this choice may not suitable for such systems having two different materials. In this context, damping ratios for structure and backfill system are selected as 0.05 and 0.15, respectively (Chopra, 2007).

The culvert dynamic responses are investigated using lateral displacements relative to the foundation, and peak stresses obtained in longitudinal (x), transverse (y), and vertical (z) directions. The peak stresses are taken from back face (backfill side) and front face of box culvert wall. Table 2 shows peak dynamic responses obtained from box culvert in detail. When Table 2 is examined, the changes of dynamic responses can be seen. More specifically, the peak stresses obtained for different soil systems show increment, decrement or negligible variations. In addition, similar changes are observed in the peak displacements of the box culvert.

Table 2. Peak dynamic responses of box culvert

Soil System	**S1**		**S2**		**S3**		**S4**	
Responses	**t (s)**	**Value**	**t (s)**	**Value**	**t (s)**	**Value**	**t (s)**	**Value**
u_t (m)	7.30	-0.0025	6.40	0.0025	7.75	-0.0029	7.80	-0.0025
$S_{z(\text{back corner})}$ (MPa)	7.70	1.7409	7.75	1.6584	7.75	2.0498	7.80	1.7715
$S_{y(\text{back corner})}$ (MPa)	7.70	-0.6489	7.70	-0.6537	7.70	-0.6665	7.75	-0.5551
$S_{x(\text{back corner})}$ (MPa)	7.65	3.1640	7.65	3.2705	7.70	3.7944	7.70	2.9788
$S_{z(\text{back midpoint})}$ (MPa)	7.90	1.5676	6.40	1.4574	7.75	-1.4516	7.80	-1.5795
$S_{y(\text{back midpoint})}$ (MPa)	7.90	-0.4976	6.40	-0.4640	7.75	0.4547	7.80	0.4949
$S_{x(\text{back midpoint})}$ (MPa)	7.75	0.6678	9.00	0.5441	7.30	0.4405	7.95	-0.4316
$S_{z(\text{front corner})}$ (MPa)	8.80	-0.8728	7.95	-0.8705	7.80	1.0073	7.65	-1.0563
$S_{y(\text{front corner})}$ (MPa)	7.70	-3.7688	7.70	-3.8350	7.70	-4.0789	7.75	-3.2584
$S_{x(\text{front corner})}$ (MPa)	7.75	0.8455	7.75	0.7929	7.80	0.7343	7.40	0.6907
$S_{z(\text{front midpoint})}$ (MPa)	7.30	1.0284	6.40	-0.9554	7.80	1.0956	7.80	1.0957
$S_{y(\text{front midpoint})}$ (MPa)	7.90	-1.0202	7.95	-1.0184	7.80	1.0847	7.80	1.1201
$S_{x(\text{front midpoint})}$ (MPa)	7.75	0.8576	7.75	0.8023	7.80	0.7401	7.40	0.6868

u_t: Maximum relative lateral top displacement of the box culvert; t: Time; S_z, S_y, S_x (back corner): Stresses estimated on the back face (backfill side) of the box culvert in *z*, *y* and *x* directions, respectively; S_z, S_y, S_x (back midpoint): Stresses estimated on the back face of the box culvert in *z*, *y* and *x* directions, respectively; S_z, S_y, S_x (front corner): Stresses estimated on the front face of the box culvert in *z*, *y* and *x* directions, respectively; S_z, S_y, S_x (front midpoint): Stresses estimated on the front face of the box culvert in *z*, *y* and *x* directions, respectively.

4. Dynamic Responses of Box Culvert

Seismic responses of box culvert may be substantially affected from properties of foundation or backfill soil systems. For this reason, the stresses in the section and displacements of box culvert can supply very important information to investigate changes in dynamic response magnitude. Figure 3 and Figure 4 show the time history of various stresses obtained from different points.

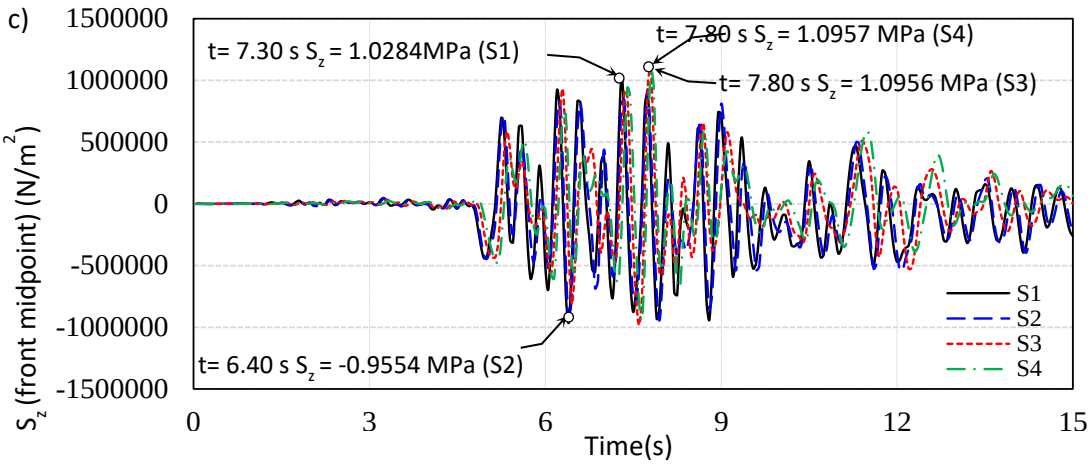


Figure 4. Dynamic stresses taken from front midpoint of the box culvert at z direction

The change of the stresses can be easily seen in Figure 4. Peak stress for S2 soil system realizes as 0.9554 MPa, while the same response occurs at 1.0956 MPa level with an increase by about 15% for S3 soil system. It should also be noted for this example that while the peak stress in S2 soil system realizes as compression, the peak response for the S3 soil system occurs as tension. Similar trend can be observed in Figure 5a. In the S3 foundation soil system, the change for peak stress occurs with an increase of 25% compared to the S4 soil system, while it occurs around 16% for S1 soil system compared to the S4 base.

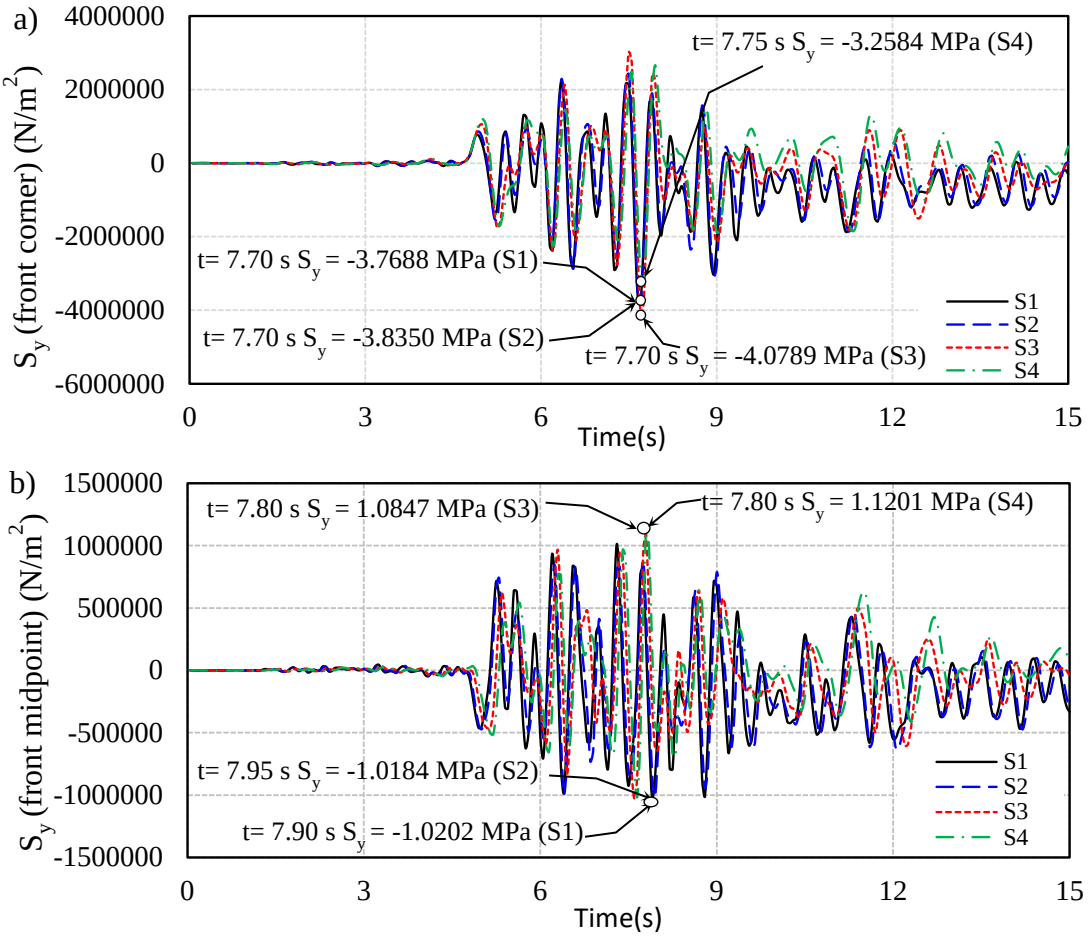


Figure 5. Dynamic stresses taken from a) front corner at y direction, b) front midpoint at y direction

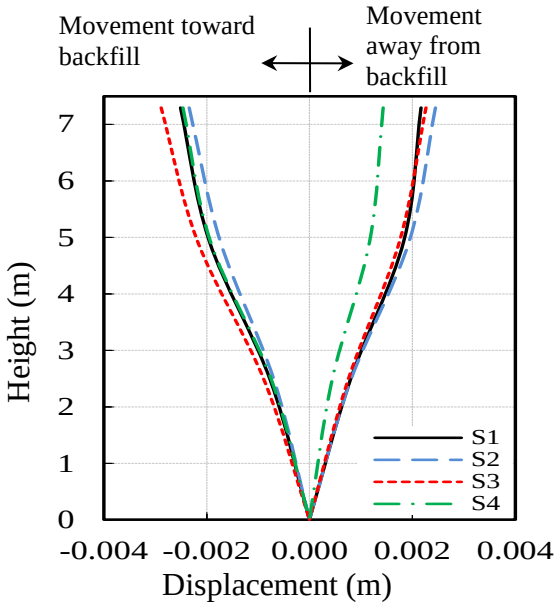


Figure 6. Variation of relative lateral displacements along height of box culvert

It is of great importance to limit the retaining structures in terms of displacement under sudden loads such as earthquakes. Figure 6 shows relative lateral displacements along the box culvert height. Relative displacements are defined as two ways: movement toward backfill and movement away from backfill.

When Figure 6 is examined, it can be seen that the movement in both directions is quite different. In addition, it is seen that while the S3 soil system generally causes the biggest relative displacements in the movement towards the backfill, S2 soil system causes the biggest relative displacements in the movement away from backfill.

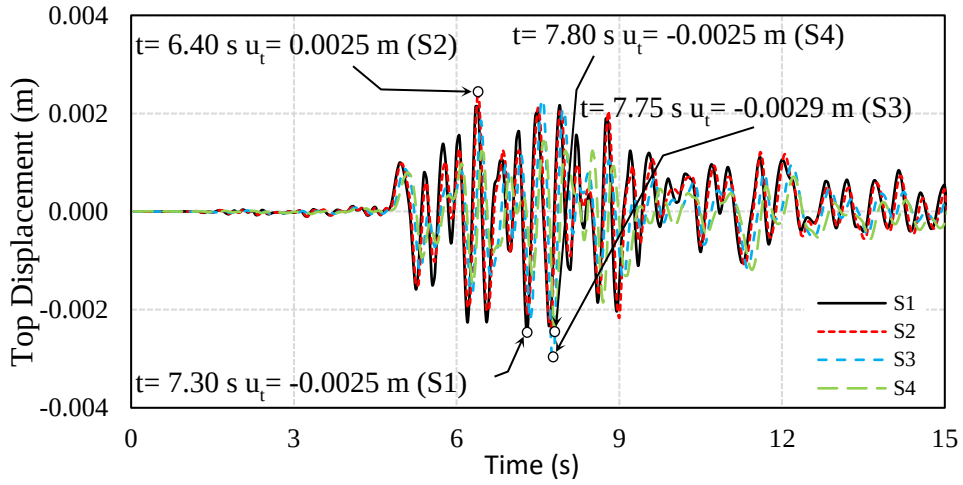


Figure 7. Time history of peak relative lateral displacements at the top of the box culvert

Time history of relative displacements obtained from the top of the box culvert is presented in Figure 7. Magnitudes of the peak displacements is relatively same for S1, S2 and S4 foundation soil systems but it is noteworthy that the response direction changes for the S2 foundation system. On the other hand, while peak response magnitudes for S1, S2 and S4 are 0.0025 m, the same peak response occurs at a level of 0.0029 m in the S3 foundation soil system, increasing by 16%.

5. Concluding Remarks

Partially or fully buried structures may suffer important structural damages from earthquakes. The magnitude of damages can be affected by many factors such as earthquake frequency content, soil-structure interaction, structure stiffness, soil amplification, and so on. This study investigates the effects of soil-structure interaction on the dynamic behavior of the box culvert. Toward to commenting this interaction effects to the superstructure, full three-dimensional nonlinear time history analyses using the direct method approach were carried out. Parametric analyses were performed by using finite element computer program ANSYS. Dynamic responses were examined in terms of the relative lateral displacements and stresses in the wall.

The results show that stresses of box culvert generally change depending on soil stiffness. These changes can reach different magnitudes in different directions, and they can be sometimes negligible. A similar trend is observed in culvert peak displacements at least for the cases considered here, and it is seen that the direction of the biggest reaction in terms of relative displacement can vary in different soil systems. More elaborately, the peak responses of the system may increase, decrease, or not remarkably change due to soil-structure interaction depending on the relation between the characteristics of the relevant ground motion and local soil conditions. Beneficial or detrimental effects of soil-structure interaction on the response can be observed.

As an overall for the examined system, consideration the soil-structure interaction is found significant in most of the responses. Observations from the results reveal that a comprehensive modeling of the interaction effects is requisite for accurate predictions of the responses. For this reason, it is of great importance that in dynamic design of the culverts, the type projects should be carefully put into practice, and that site conditions must be taken into consideration especially in soft soil systems.

References

Anastasopoulos, I., Gerolymos, N., Drosos, V., Georgarakos, T., Kourkoulis, R. and Gazetas, G. (2008). Behaviour of deep immersed tunnel under combined normal fault rupture deformation and subsequent seismic shaking. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *6*(2), 213–239. https://doi.org/10.1007/s10518-007-9055-0

Anastasopoulos, I., Gerolymos, N., Drosos, V., Kourkoulis, R., Georgarakos, T. and Gazetas, G. (2007). Nonlinear Response of Deep Immersed Tunnel to Strong Seismic Shaking. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *133*(9), 1067–1090. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2007)133:9(1067)

ANSYS Inc. (2015). *ANSYS Mechanical APDL [Computer Software]*. ANSYS Inc.

Bobet, A. (2003). Effect of pore water pressure on tunnel support during static and seismic loading. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *18*(4), 377–393. https://doi.org/10.1016/S0886-7798(03)00008-7

Bobet, A. (2010). Drained and undrained response of deep tunnels subjected to far-field shear loading. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *25*(1), 21–31. https://doi.org/10.1016/j.tust.2009.08.001

Bobet, A., Fernandez, G., Huo, H. and Ramirez, J. (2008). A practical iterative procedure to estimate seismic-induced deformations of shallow rectangular structures. *Canadian Geotechnical Journal*, *45*(7), 923–938. https://doi.org/10.1139/T08-026

Chopra, A. K. (2007). *Dynamics of structures*. Pearson Education.

Debiasi, E., Gajo, A., and Zonta, D. (2013). On the seismic response of shallow-buried rectangular structures. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *38*, 99–113. https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.04.011

Hashash, Y. M. A., Hook, J. J., Schmidt, B. and I-Chiang Yao, J. (2001). Seismic design and analysis of underground structures. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *16*(4), 247–293. https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00051-7

Huang, J., Zhao, X., Zhao, M., Du, X., Wang, Y., Zhang, C. and Zhang, C. (2020). Effect of peak ground parameters on the nonlinear seismic response of long lined tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *95*, 103175. https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103175

Iida, H., Hiroto, T., Yoshida, N. and Iwafuji, M. (1996). Damage to daikai subway station. *Soils and Foundations*, *36*(Special), 283–300. https://doi.org/10.3208/sandf.36.Special_283

Konstandakopoulou, F. D., Beskou, N. D. and Hatzigeorgiou, G. D. (2021). Three-dimensional nonlinear response of utility tunnels under single and multiple earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *143*, 106607. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106607

Kontoe, S., Zdravkovic, L., Potts, D. M. and Menkiti, C. O. (2011). On the relative merits of simple and advanced constitutive models in dynamic analysis of tunnels. *Géotechnique*, *61*(10), 815–829. https://doi.org/10.1680/geot.9.P.141

Lysmer, J. and Kuhlemeyer, R. L. (1969). Finite Dynamic Model for Infinite Media. *Journal of the Engineering Mechanics Division*, *95*(4), 859–877. https://doi.org/10.1061/JMCEA3.0001144

Mahjoubi, S. and Maleki, S. (2020). Finite element modelling and seismic behaviour of integral abutment bridges considering soil–structure interaction. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, *24*(6), 767–786. https://doi.org/10.1080/19648189.2017.1421483

Owen, G. N. and Scholl, R. E. (1981). *Earthquake engineering of large underground structures.* (Issue FHWA/RD-80/195).

Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center. (2021). *PEER ground motion database*. https://ngawest2.berkeley.edu/

Park, K. H., Tantayopin, K., Tontavanich, B. and Owatsiriwong, A. (2009). Analytical solution for seismic-induced ovaling of circular tunnel lining under no-slip interface conditions: A revisit. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *24*(2), 231–235. https://doi.org/10.1016/j.tust.2008.07.001

Penzien, J. (2000). Seismically induced racking of tunnel linings. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, *29*(5), 683–691. https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(200005)29:5<683::AID-EQE932>3.0.CO;2-1

Penzien, J. and Wu, C. L. (1998). Stresses in linings of bored tunnels. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, *27*(3), 283–300. https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199803)27:3<283::AID-EQE732>3.0.CO;2-T

Pitilakis, K. and Tsinidis, G. (2014). Performance and seismic design of underground structures. In M. Maugeri and C. Soccodato (Eds.), *Earthquake Geotechnical Engineering Design* (Vol. 28, pp. 279–340). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-03182-8_11

Sandoval, E. and Bobet, A. (2020). Effect of input frequency on the seismic response of deep circular tunnels. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *139*, 106421. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106421

Shamsabadi, A., Khalili-Tehrani, P., Stewart, J. P. and Taciroglu, E. (2010). Validated simulation models for lateral response of bridge abutments with typical backfills. *Journal of Bridge Engineering*, *15*(3), 302–311. https://doi.org/10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000058

Sharma, S. and Judd, W. R. (1991). Underground opening damage from earthquakes. *Engineering Geology*, *30*(3–4), 263–276. https://doi.org/10.1016/0013-7952(91)90063-Q

St John, C. M. and Zahrah, T. F. (1987). Aseismic design of underground structures. *Tunnelling and Underground Space Technology Incorporating Trenchless*, *2*(2), 165–197. https://doi.org/10.1016/0886-7798(87)90011-3

Tsinidis, G. (2017). Response characteristics of rectangular tunnels in soft soil subjected to transversal ground shaking. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *62*, 1–22. https://doi.org/10.1016/j.tust.2016.11.003

Tsinidis, G. and Pitilakis, K. (2018). Improved R-F relations for the transversal seismic analysis of rectangular tunnels. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *107*, 48–65. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.01.004

Wang, J. J. (1993). *Seismic design of tunnels: A simple state-of-the-art design approach*.

Wood, J. H. (2007). Earthquake design of rectangular underground structures. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, *40*(1), 1–6. https://doi.org/10.5459/bnzsee.40.1.1-6

Yang, Y., Yu, H., Yuan, Y. and Zhao, M. (2020). Analytical solution for longitudinal seismic response of long tunnels subjected to Rayleigh waves. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, *44*(10), 1371–1385. https://doi.org/10.1002/nag.3066

Youd, T. L. and Beckman, C. J. (1996). *Highway culvert performance during past earthquakes*.

Yu, J. and Wang, Z. Z. (2021). The dynamic interaction of the soil-tunnel-building system under seismic waves. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *144*, 106686. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106686

Examination of Dynamic Displacements of a Box Culvert Backfilled on One Side

Kasif Furkan OZTURK*[1,a], Tufan CAKIR[1,b], Onur ARAZ[1,c]
[1]*Gümüşhane University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Department of Civil Engineering, 29100, Gümüşhane*

Abstract

Culvert structures, which are very important for various infrastructure services as well as providing vehicle and pedestrian passage, are frequently built today. Such structures, generally designed as full or partially buried, may be exposed to various damages, especially in earthquake-prone zones, and their failure may result in direct and indirect substantial economic losses. Therefore, also taking the global frequency of earthquakes all over the world into account, examinations on the behavior of box culverts under dynamic excitations are of critical importance. It is necessary that while performing the seismic design of such structures, many events such as dynamic soil-structure interaction, fault rupture, liquefaction, settlement, tectonic uplift, subsidence, slope collapse etc. should be evaluated. The effects of seismic loads on the culverts can be assessed by many approaches for the investigation of the stated events. The usability or maintaining functional integrity of such structures after an earthquake is closely related to permanent displacements. From this point of view, in this study, two practical mathematical models with fixed-base are proposed by using some well-known approaches, and dynamic displacements of a box culvert are investigated for three earthquake records and four different backfill soil conditions. The 1983 Coalinga, 1989 Loma Prieta and 2004 Parkfield earthquakes are applied as forces to the model base. Linear elastic material model is utilized in the seismic analyses. The variation of dynamic displacements of the culvert is presented in terms of the backfill-culvert interaction and earthquake frequency content, comparatively. The comparative results point out that the mathematical models considered produce different responses under different earthquake records for the same soil system, and that the dynamic displacements are clearly affected by different soil system and frequency content of the excitations.

Keywords: Backfill-Culvert Interaction, Box Culvert, Frequency Content, Mathematical Model

1. Introduction

Culverts are civil engineering structures designed as partially or fully buried, to drain water currents caused by precipitation, prevent slope movement, and allow vehicle and pedestrian passage. These structures, which are generally constructed as buried, may also be designed without cover soil system in order to provide pedestrian or vehicle passage in various situations. In this context, the technical specification of General Directorate of Highway of Turkey collects the culvert structures under three main headings as arch culverts, box culverts and culverts with deck slab (General Directorate of Highways of Turkey, 2013).

The estimation of dynamic pressures on retaining walls such as culvert structures is a highly complex matter. In this regards, practical analytical methods used in seismic design of culvert structures for this aim can be grouped under two headings in general (Kramer, 1996). First is based on yielding retaining wall assumption. In such a case, it is assumed that the retaining structure is able to move sufficiently to develop minimum active and / or maximum passive pressures. One of the leading approaches for the design of yielding walls was proposed by Okabe (1924) and Mononobe and Matsuo (1929). It is called Mononobe-Okabe (M-O) method. This approach has been arranged by Seed and Whitman (1970) to obtain only active thrust. A similar approach has been proposed by Towhata and Islam (1987) to obtain the passive dynamic thrust component. On the other hand, although the proposed M-O method reflects

the dynamic load characteristics well, it does not consider the phase difference and amplification effects behind the wall. These shortcomings mentioned can be easily taken into account with the method proposed by Steedman and Zeng (1990). In addition to these approaches briefly described, many researchers have also contributed to understand the seismic behavior of yielding walls (Veletsos and Younan, 1997; Younan and Veletsos, 2000; Mylonakis et al., 2007). Another main heading of retaining structures is the nonyielding walls. In this case, minimum active and/or maximum passive pressure do not develop due to insufficient movement of the structure. One of the pioneering studies on seismic design of nonyielding walls was carried out by Wood (1973). He showed that dynamic thrust and overturning moment can be found for the low frequency range. Scott (1973) proposed a mathematical model with varying stiffness along the wall height, taking into account the soil medium. Veletsos and Younan (1994a, 1994b) presented elastic solutions to achieve dynamic responses on a rigid wall. A similar model consisted of mass-spring-damping elements was proposed by Wolf (1997). Li (1999) improved the mathematical model produced by Veletsos and Younan (1994a), taking into account the foundation flexibility. In addition, approaches for the solution of rigid walls have been analyzed analytically with different material assumptions for the soil medium (Papagiannopoulos et al., 2015; Vrettos et al., 2016). The studies briefly mentioned above provide practical and useful information before the design of retaining structures. On the other hand, the simplifying assumptions made for the solution of analytical methods may make these methods relatively inadequate in the detailed examination of sophisticate problems such as soil-structure interaction. In this context, many studies have been carried out on the dynamic behavior of retaining structures using finite element or finite difference methods (Anastasopoulos et al., 2008; Evangelista et al., 2010; Athanasopoulos-Zekkos et al., 2013; Cakir, 2013, 2014a, 2014b; Debiasi et al., 2013; Zamiran and Osouli, 2018; Huang et al., 2020; Salem et al., 2020; Srikar and Mittal, 2020; Cakir and Ozturk, 2020; Yu and Wang, 2021; Konstandakopoulou et al., 2021).

Another important issue in seismic design of retaining structures is related to permanent displacements. In terms of service sustainability, it should be taken into account that while large displacements in some walls are permissible, others may be failed in smaller displacements. Richard and Elms (1979) have proposed a method to predict permanent displacement of gravity wall with similar approach to Newmark sliding block procedure. Unlike the single-block model of Richard and Elms (1979), Kamran (1979) showed that the wall and backfill can be dealt with as separate blocks. Whitman and Liao (1985) showed some deficiencies of the method outlined by Richard and Elms (1979), and suggested a new approach to estimate displacements. In addition to these studies, some researchers focused on studies combined effects of tilting and sliding of wall (Siddharthan et al., 1992).

The paper investigates the displacements of the reinforced concrete box culvert under three different earthquake records through a simplified mathematical model proposed considering backfill-structure interaction mechanism under fixed-base case. Mathematical models adopt two different well-known methods of Scott (1973), and Veletsos and Younan (1994a). In addition, the effect of the frequency content of the earthquake on the magnitude of dynamic displacements has been shown.

2. System Identification and Suggested Mathematical Models

The system is represented with uniform layer of elastic material that is free at the top surface and box culvert assumed as consists of rigid walls. Material damping is considered with Rayleigh damping. Culvert and backfill stratum are on rigid base, and their heights are H. Interface between backfill and wall is assumed as bonded, and length of the backfill soil layer is considered as 10H, which is generally believed to represent semi-infinite layer. A schematic representation of the problem considered in the solution is presented in Figure 1.

Mass-spring-dashpot systems are often used in structural dynamics problems. These approaches, which can be constituted in a practical way, can provide very useful information before the structural design. In this study, a mass-spring-dashpot model is created for box culvert-backfill system, and two mathematical models are used to investigate the dynamic displacements of the culvert-backfill system. Mass of backfill stratum is taken as the value of proposed by Veletsos and Younan (1994a). Stiffness of stratum is adopted from two different approaches stated by Scott (1973), and Veletsos and Younan

(1994a). While Model 1 represents the mathematical model established considering the stiffness of Veletsos and Younan (1994a), Model 2 represents the mathematical model constituted inspiring from Scott's (1973) approach. These stiffnesses of backfill are attached to the wall at a height of $0.637H_{eff}$. Simplified mathematical model is shown in Figure 2.

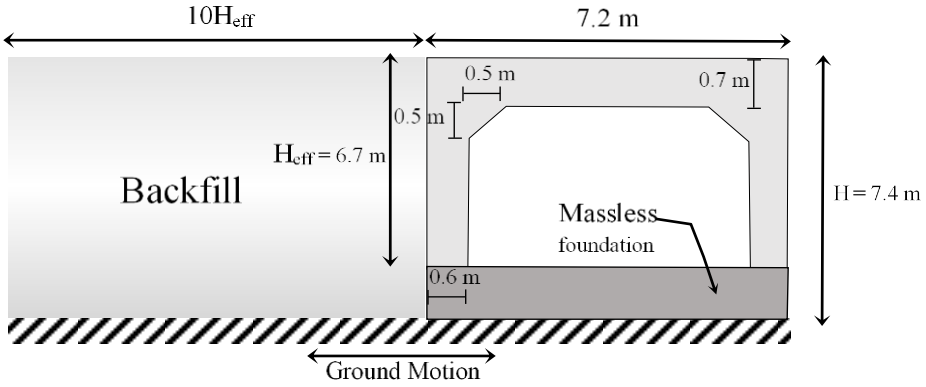


Figure 1. Schematic representation of the box culvert-backfill interaction system

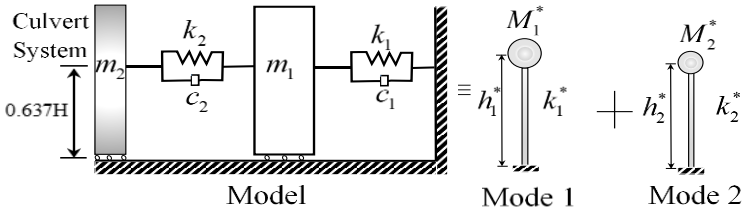


Figure 2. Mathematical model of backfill-culvert system

Model 1 is formed with two stiffnesses, dashpots, and masses. The dynamic behaviour of the structure under forced vibration is significantly related to the natural modes of the structure. In this regards, vibration modes of backfill-culvert system should be obtained by using the undamped vibration analysis. For this aim, it needs to know some basic physical parameters of the soil-structure interaction system. Mass of backfill system, m_1 is considered as follows:

$$m_1 = 0.543\psi_\sigma \rho H_{eff}^2 \quad (1)$$

where ρ is density of the backfill soil system. H_{eff} is effective height of the backfill and culvert. Additionally, $\psi_\sigma, \psi_0, \psi_e$ terms are written as follows:

$$\psi_\sigma = \frac{\psi_0^2}{\psi_e};\ \psi_0 = \sqrt{\frac{2}{1-\nu}};\ \psi_e = \sqrt{\frac{2-\nu}{1-\nu}} \quad (2)$$

These expressions are variables that depend on the Poisson's ratio of backfill soil (ν). The backfill stiffness in the backfill-structure system is represented with k_1 for Model 1, and it is stated as follows:

$$k_1 = m_1 \frac{\pi^2 G}{4H_{eff}^2 \rho} = 1.339\psi_\sigma G \quad (3)$$

where *G* states shear modulus of backfill. The other mathematical model, Model 2, is represented with Scott's stiffness. This approach presents lateral subgrade reaction modulus, and the formula is as follows:

$$k_1^{'} = \frac{0.8(1-v)G}{(1-2v)Heff} \tag{4}$$

Scott's approach cannot be used directly in the mathematical model because this approach has been proposed for Winkler solution. On the other hand, it can be easily converted to only a spring term as follows:

$$k_1^{*} = k_1^{'}A \tag{5}$$

where the term *A* states area in backfill side of culvert. This approach is practical and useful when it is assumed that the properties of the backfill system are homogeneous and constant along the wall height. The culvert walls are represented as beam in Model 1 and Model 2, and its transverse stiffness is obtained as follows:

$$k_2 = \frac{2P}{\frac{PH_{eff}{}^3}{12E_wI_w} + \frac{1.2PH_{eff}}{0.40Ewbd}} \tag{6}$$

where *P, b, d, E_w* and *I_w* defines force on culvert, thickness, width, young's modulus, and inertia of moment of culvert, respectively. Width of culvert (b) is considered as 6 m.

Dynamic solution of soil-structure system is carried out with the equation of motion in matrix form. For this aim, the corresponding equation can be formed by the D'Alembert's principle as follows:

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}\begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \end{Bmatrix} \tag{7}$$

where $(\ddot{u}_1,\ddot{u}_2),(\dot{u}_1,\dot{u}_2),(u_1,u_2)$ define the acceleration, velocity, and displacement vectors of backfill and culvert systems, respectively. *$P_1(t)$* and *$P_2(t)$* terms represent inertial forces acting on culvert and backfill system. It should be emphasized that damping matrix is formed with Rayleigh damping, and c_1 and c_2 terms are damping terms that are found depending on mass and stiffness matrix.

The equation is solved by following modal analysis procedure. In this regards, effective modal masses (M_1^{*},M_2^{*}), effective stiffnesses (k_1^{*},k_2^{*}) and effective heights (h_1^{*},h_2^{*}) must be found. The following equations are used to obtain the parameters stated above:

$$M_n^{*} = \Gamma_n L_n^h = \frac{\left(L_n^h\right)^2}{M_n};\quad h_n^{*} = \frac{L_n^\theta}{L_n^h};\quad k_n^{*} = \omega_n^2 M_n^{*} \tag{8}$$

$$M_n = \phi_n^T m \phi_n = \sum_{j=1}^{N} m_j \phi_{jn}^2;\quad \Gamma_n = \frac{L_n^h}{M_n};\quad L_n^h = \sum_{j=1}^{N} m_j \phi_{jn};\quad L_n^\theta = \sum_{j=1}^{N} h_j m_j \phi_{jn} \tag{9}$$

where *N*, ϕ_n and w_n^2 expressions define the total mode number, the **n**th mode vector and eigenvalue, respectively.

3. Modal Analysis of Backfill-Culvert System

Dynamic behavior of structures can be affected from many factors such as soil stiffness, earthquake frequency content, soil deposit thickness, and structure stiffness. Researchers generally focus on the effects of soil stiffness and of frequency content of excitation. Effects of backfill-structure interaction on dynamic response are investigated considering different soil systems. Mechanical and physical properties of considered soil systems are presented in Table 1. In addition, Young's modulus, Poisson's ratio and weight per unit volume of the concrete box culvert in analyses have been considered as 30000 MPa, 0.2 and 25 kN/m^3.

Undamped free vibration analyses of backfill-structure interaction system are fulfilled, and obtained results are shown in Table 2. If the results are examined, it can be stated that as the soil stiffness decreases, mode frequencies decrease, and interaction effects are clearly observed from the modal analysis. It is seen that the mathematical models established considering two different approaches produce different results as expected. In addition, as can be seen from Table 2, Model 1 gives larger frequency values than those obtained from Model 2.

Table 1. Soil properties considered for backfill soil system

Soil System ID	E, kN/m^2	G, kN/m^2	ν	γ, kN/m^3	v_s, m/s	v_p, m/s
S1	300000	115384	0.30	20	240	449
S2	150000	57692	0.30	19	174	326
S3	75000	27777	0.35	18	124	259
S4	35000	12963	0.35	17	87	182

ID: Identity, E: Young's Modulus, G: Shear Modulus, ν: Poisson's ratio, γ: Weight per unit volume, v_s : Shear wave velocity, v_p : Compressional wave velocity

Table 2. Undamped free vibration analysis results

		Proposed Models	
	Soil System	Model 1	Model 2
First Mode Frequency (Hz)	S1	5.27	4.75
	S2	4.62	3.83
	S3	3.66	3.09
	S4	2.67	2.21
Second Mode Frequency (Hz)	S1	9.93	8.32
	S2	8.22	7.49
	S3	7.40	7.18
	S4	7.14	7.05

4. Effects of Backfill-Structure Interaction

Dynamic behaviour of structures can importantly change under different loadings even in the same soil conditions. While these changes are sometimes relatively low, they can reach quite large levels under various conditions. In this context, three different earthquake records having three different frequency characteristics are taken into account in seismic analyses. Time histories of the earthquake records

obtained from Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Ground Motion Database (2021) are presented in Figure 3.

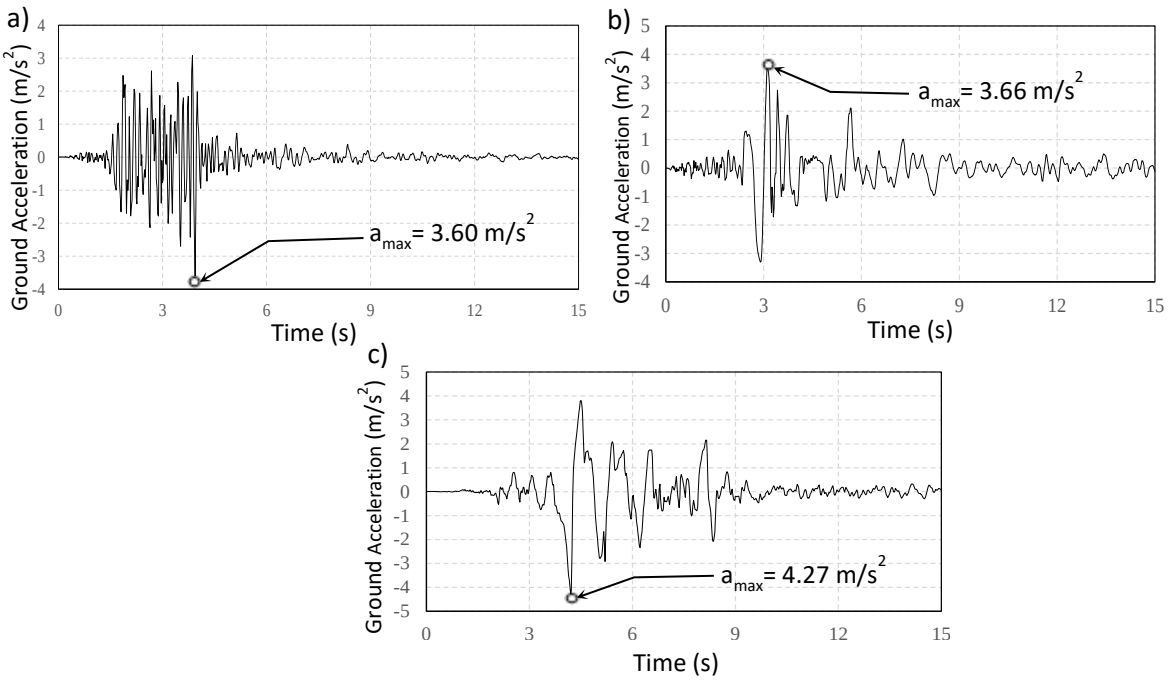


Figure 3. Time histories of the earthquake records considered in the analyses: a) 1983 Coalinga, b) 2004 Parkfield, and c) 1989 Loma Prieta

There are many approaches to classify the earthquakes using various parameters. One of the most preferred methods is used in the study. According to this method, earthquake frequency content can be classified into three main categories depending on relation between peak ground acceleration and peak ground velocity (Cakir, 2013). The first is the high frequency range where is $1.2 < PGA/PGV$. The second is the intermediate frequency range where is $0.8 \le PGA/PGV \le 1.2$. The last one is considered as the low frequency range where is $0.8 > PGA/PGV$. Table 3 shows ranges of the earthquake records.

Table 3. Properties of considered earthquake records

Earthquake	**Station**	**Record / Component**	***PGA* (g)**	***PGV* (m/s)**	***PGA/PGV***
1983 Coalinga	Oil City	COALINGA/C-OLC360	0.367	0.099	3.71
2004 Parkfield	Parkfield-Cholame 2WA	PARK2004/C02360	0.373	0.446	0.84
1989 Loma Prieta	Los Gatos-Lexington Dam	LOMAP/LEX000	0.435	0.857	0.51

Table 4. Peak displacements obtained from seismic analyses

Earthquake		Model 1		Model 2	
	ID	t (s)	u (m)	t (s)	u (m)
Coalinga					
	S1	2.04	0.0083	4.10	-0.0126

	S2	4.10	-0.0109	2.36	0.0108
	S3	2.26	-0.0118	2.28	-0.0128
	S4	3.50	-0.0187	2.84	-0.0160
Parkfield					
	S1	3.12	-0.0072	3.14	-0.0095
	S2	3.14	-0.0103	3.76	-0.0185
	S3	3.92	0.0224	4.00	0.0333
	S4	3.56	-0.0380	3.42	0.0519
Loma Prieta					
	S1	4.54	-0.0082	4.56	-0.0102
	S2	4.36	-0.0104	4.40	-0.0158
	S3	4.40	-0.0166	4.42	-0.0243
	S4	4.46	-0.0382	4.54	-0.0577
u : Peak displacement of culvert, t: Time					

Structural damping can be reflected in many ways. Rayleigh damping is the most common because of its practicality. Classical damping matrix system using this method can be easily formed. Rayleigh damping can be mentioned as following:

$$C = a_0 m + a_1 k \quad (10)$$

where C is damping matrix. a_0 and a_1 are proportional coefficients with mass and stiffness. After some adjustments are made, the following expression depending on the damping ratio of nth mode (ζ_n) can be obtained.

$$\zeta_n = \frac{a_0}{2w_n} + \frac{a_1 w_n}{2} \quad (11)$$

The expression defined above can be converted to the following form in most practical applications, when a_0 is assumed as zero.

$$a_1 = \frac{2\zeta_n}{w_n} \quad (12)$$

where w_n represents nth natural frequency (rad/sec).

The peak displacement responses obtained from dynamic analyses are shown in Table 4. When Table 4 is examined, in all earthquake records, it is seen that the peak displacements tend to increase in general depending on decrement in soil stiffness.

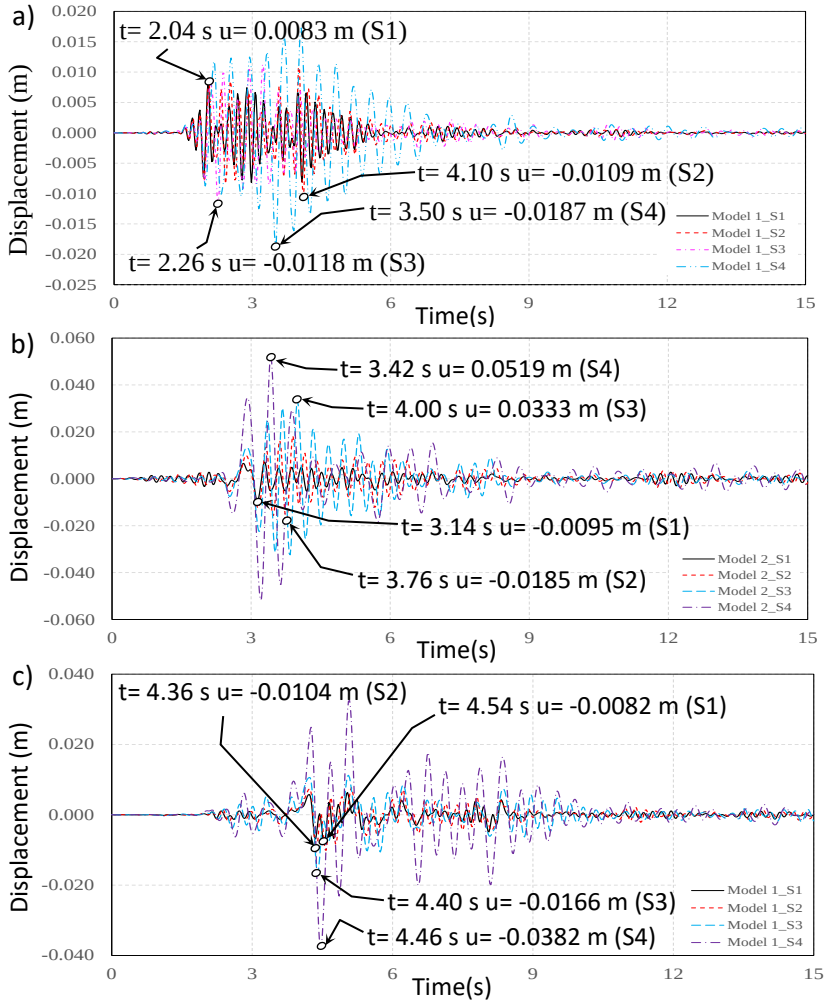


Figure 4. Time histories of displacement of culvert in (a) Coalinga, (b) Parkfield, and (c) Loma Prieta earthquakes

Figure 4 shows the dynamic responses obtained from Model 1 and Model 2 for different earthquakes. When Figure 4a is examined, it is seen that the displacements increase depending on decrease in soil stiffness. For example, while S1 backfill soil system produce 0.0083 m peak response in culvert, this response in S4 soil system occurs as 0.0187 m. This implies 125% increment between two dynamic peak displacement responses. A similar trend is easily observed for Parkfield loading in Figure 4b, where while peak displacement of culvert for S1 backfill, system is 0.0095 m, the same response in S4 backfill system occurs at an order of 0.0519 m with an increase of 446%.

5. Effects of Earthquake Frequency Content and Modeling Approaches

Dynamic response of culvert system can be affected from frequency content of the excitation and modeling approaches. Frequency contents of the corresponding earthquakes have been classified above, and time histories of dynamic displacements of box culvert for earthquake loadings are presented for S4 soil system in Figure 5.

Figure 5 clearly shows that different earthquake frequency content may cause different response magnitudes on the box culvert. For example, while Coalinga earthquake in high frequency range results

in dynamic displacement in order of 0.0187 m for S4 soil system, Loma Prieta earthquake in low frequency range gives rise to displacement in order of 0.0382 m with an increase of nearly 104%.

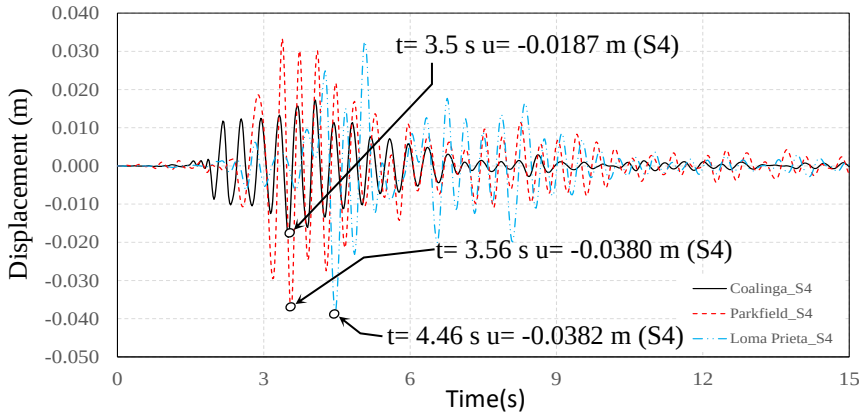


Figure 5. Time history of dynamic displacements obtained from Model 1 under three different earthquakes

Furthermore, it is possible to make some comparisons by means of the time history between the results obtained from the proposed two different models. Figure 6 presents an example for such a comparison. When Figure 6 is examined, it is seen that under the Coalinga earthquake, Model 2 causes 0.0160 m displacement at 2.84 s for S4 ground system, while the same response for Model 1 occurs as 0.0187 m at 3.50 s. As can be seen, the deviation obtained between the two peak responses is around 17%. Similar comparisons can also be done for the other backfill soil systems and ground motions.

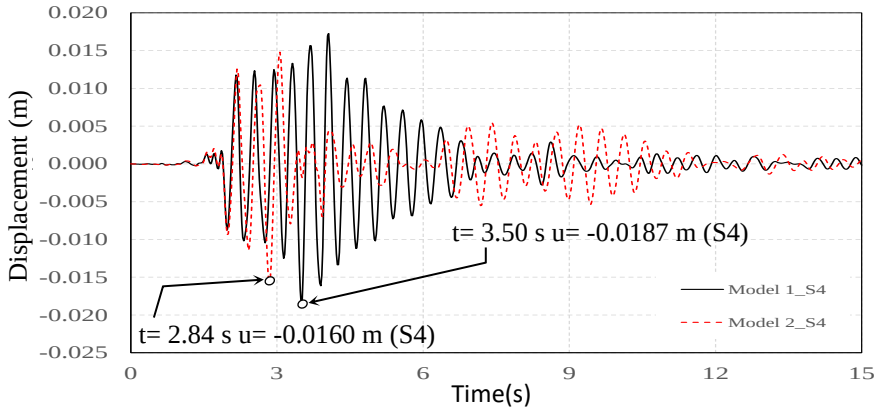


Figure 6. Time history of dynamic displacements obtained from Model 1 and Model 2 under Coalinga earthquake

6. Conclusions and Recommendations

This study proposes a mathematical model for practical analysis of culvert-backfill system under fixed-base using two well-known methods in the context of backfill-structure interaction. Three earthquakes having different frequency content and four different backfill systems are used in the seismic analyses. The results obtained are compared in terms of the peak dynamic displacements based on time history.

Examinations show that the peak seismic displacements generally increase depending on the decrement in soil stiffness. In addition, dynamic behavior of the box culvert change remarkably due to the frequency characteristics of the excitation. It has been also observed that different mathematical models may produce relatively different responses.

Consequently, backfill soil may have a critical role for characterizing seismic response of box culverts since it may amplify dynamic motions. The proposed fixed-base model can be extended to take account of subsoil interaction effects. It should be remembered that more general judgments should be obtained by reproducing parametric studies.

References

Anastasopoulos, I., Gerolymos, N., Drosos, V., Georgarakos, T., Kourkoulis, R. and Gazetas, G. (2008). Behaviour of deep immersed tunnel under combined normal fault rupture deformation and subsequent seismic shaking. *Bulletin of Earthquake Engineering*, *6*(2), 213–239. https://doi.org/10.1007/s10518-007-9055-0

Athanasopoulos-Zekkos, A., Vlachakis, V. S. and Athanasopoulos, G. A. (2013). Phasing issues in the seismic response of yielding, gravity-type earth retaining walls - Overview and results from a FEM study. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *55*, 59–70. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2013.08.004

Cakir, T. (2013). Evaluation of the effect of earthquake frequency content on seismic behavior of cantilever retaining wall including soil–structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *45*, 96–111. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2012.11.008

Cakir, T. (2014a). Backfill and subsoil interaction effects on seismic behavior of a cantilever wall. *Geomechanics and Engineering*, *6*(2), 117–138. https://doi.org/10.12989/gae.2014.6.2.117

Cakir, T. (2014b). Influence of wall flexibility on dynamic response of cantilever retaining walls. *Structural Engineering and Mechanics*, *49*(1), 1–22. https://doi.org/10.12989/sem.2014.49.1.001

Cakir, T. and Ozturk, K. F. (2020). An overview to the dynamic behaviour of the inverted T type cantilever retaining wall taking into account soil structure interaction phenomenon. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, *11*(1), 37–50.

Debiasi, E., Gajo, A. and Zonta, D. (2013). On the seismic response of shallow-buried rectangular structures. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *38*, 99–113. https://doi.org/10.1016/j.tust.2013.04.011

Elms, D. G. and Richards, R. (1979). Seismic design of gravity retaining walls. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, *12*(3), 114–121. https://doi.org/10.5459/bnzsee.12.2.114-121

Evangelista, A., Scotto di Santolo, A. and Simonelli, A. L. (2010). Evaluation of pseudostatic active earth pressure coefficient of cantilever retaining walls. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *30*(11), 1119–1128. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2010.06.018

General Directorate of Highways of Turkey. (2013). *Highway Technical Specifications*.

Huang, J., Zhao, X., Zhao, M., Du, X., Wang, Y., Zhang, C. and Zhang, C. (2020). Effect of peak ground parameters on the nonlinear seismic response of long lined tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *95*, 103175. https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.103175

Kamran, Z.-K. (1979). *Sliding of gravity retaining wall during earthquakes considering vertical acceleration and changing inclination of failure surface*. Massachusetts Institute of Technology.

Konstandakopoulou, F. D., Beskou, N. D. and Hatzigeorgiou, G. D. (2021). Three-dimensional nonlinear response of utility tunnels under single and multiple earthquakes. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *143*, 106607. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106607

Kramer, S. L. (1996). *Geotechnica Earthquake Engineering* (W. J. Hall (ed.)). Prentice-Hall.

Li, X. (1999). Dynamic Analysis of Rigid Walls Considering Flexible Foundation. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *125*(9), 803–806. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1999)125:9(803)

Mononobe, N. (1929). On the Determination of Earth Pressure during Earthquake. *Proceedings of World Engineering Conference*, *9*, 177–185.

Mylonakis, G., Kloukinas, P. and Papantonopoulos, C. (2007). An alternative to the Mononobe-Okabe equations for seismic earth pressures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *27*(10), 957–969. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2007.01.004

Okabe, S. (1924). General theory on earth pressure and seismic stability of retaining wall and dam. *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, *10*(6), 1277–1323.

Pacific Earthquake Engineering Research (PEER) Center. (2021). *PEER ground motion database*. https://ngawest2.berkeley.edu/

Papagiannopoulos, G. A., Beskos, D. E. and Triantafyllidis, T. (2015). Seismic pressures on rigid cantilever walls retaining linear poroelastic soil: An exact solution. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *77*, 208–219. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2015.05.015

Salem, A. N., Ezzeldine, O. Y. and Amer, M. I. (2020). Seismic loading on cantilever retaining walls: Full-scale dynamic analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *130*(2020), 105962. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105962

Scott, R. F. (1973). Earthquake-induced earth pressures on retaining walls. *5th World Conference on Earthquake Engineering*, 1611–1620.

Seed, H. B. and Whitman, R. V. (1970). Design of earth retaining structures for dynamic loads. *Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures*, 103–147.

Siddharthan, R., Ara, S. and Norris, G. M. (1992). Simple Rigid Plastic Model for Seismic Tilting of Rigid Walls. *Journal of Structural Engineering*, *118*(2), 469–487. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(1992)118:2(469)

Srikar, G. and Mittal, S. (2020). Seismic Analysis of Retaining Wall Subjected to Surcharge: A Modified Pseudodynamic Approach. *International Journal of Geomechanics*, *20*(9), 06020022. https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0001780

Steedman, R. S. and Zeng, X. (1990). The influence of phase on the calculation of pseudo-static earth pressure on a retaining wall. *Geotechnique*, *40*(1), 103–112. https://doi.org/10.1680/geot.1990.40.1.103

Towhata, I. and Islam, M. D. S. (1987). Prediction of Lateral Displacement of Anchored Bulkheads Induced by Seismic Liquefaction. *Soils and Foundations*, *27*(4), 137–147. https://doi.org/10.3208/sandf1972.27.4_137

Veletsos, A. S. and Younan, A. H. (1994a). Dynamic soil pressures on rigid vertical walls. *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, *23*(3), 275–301. https://doi.org/10.1002/eqe.4290230305

Veletsos, A. S. and Younan, A. H. (1994b). Dynamic Modeling and Response of Soil-Wall Systems. *Journal of Geotechnical Engineering*, *120*(12), 2155–2179. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:12(2155)

Veletsos, A. S. and Younan, A. H. (1997). Dynamic Response of Cantilever Retaining Walls. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *123*(2), 161–172. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(1997)123:2(161)

Vrettos, C., Beskos, D. E. and Triantafyllidis, T. (2016). Seismic pressures on rigid cantilever walls retaining elastic continuously non-homogeneous soil: An exact solution. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *82*, 142–153. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2015.12.006

Whitman, R. V. and Liao, S. (1985). *Seismic design of gravity of retaining walls*.

Wolf, J. P. (1997). Spring-dashpot-mass models for foundation vibrations. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, *26*(9), 931–949. https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9845(199709)26:9<931::AID-EQE686>3.0.CO;2-M

Wood, J. H. (1973). *Earthquake-induced soil pressures on structures*. California Institute of Technology.

Younan, A. H. and Veletsos, A. S. (2000). Dynamic response of flexible retaining walls. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, *29*(12), 1815–1844. https://doi.org/10.1002/1096-9845(200012)29:12<1815::AID-EQE993>3.0.CO;2-Z

Yu, J. and Wang, Z. Z. (2021). The dynamic interaction of the soil-tunnel-building system under seismic waves. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *144*, 106686. https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106686

Zamiran, S. and Osouli, A. (2018). Seismic motion response and fragility analyses of cantilever retaining walls with cohesive backfill. *Soils and Foundations*, *58*(2), 412–426. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.02.010

Köprü Ayaklarının CFRP Sargı ile Güçlendirilmesinde Beton Sınıfının Etkisi: İncesu Köprüsü Örneği

Zafer KURT*[1,a], İlker USTABAŞ[1,b], Ali GÜRBÜZ[1,c], Fatih DEŞİK[2,d]
[1]*Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 53100, Rize*
[2]*Devlet Su İşleri Müdürlüğü, Artvin.*

Öz

Karbonla güçlendirilmiş fiber polimerler (CFRP) çekme dayanımı oldukça yüksek malzemeler olduğundan hasar gören veya görmesi beklenen yapısal elemanların güçlendirilmesinde tercih edilmektedir. Bu çalışmada, Artvin ili Ardanuç ilçesinde bulunan İncesu köprüsünün geometrisi kullanılmış, köprü ayakları CFRP sarılarak güçlendirilmiştir. Dinamik yükler altında köprünün analizi ANSYS sonlu eleman paket programı ile gerçekleştirilmiş, CFRP kabuk olarak modellenmiştir. Malzeme olarak C16-C60 arası beton sınıfları kullanılmıştır. Güçlendirme sonrası oluşan gerilme ve yer değiştirme değerleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Beton sınıfı arttıkça analiz sonrası köprüdeki gerilme değerlerinin arttığı, yerdeğiştirme değerlerinin azaldığı, beton sınıfının CFRP'nin etkinliğini önemli ölçüde değiştirmediği elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Ansys, Betonarme Köprü, Cfrp, Dinamik Analiz, Güçlendirme

1. Giriş

Köprüler geçmişten günümüze uygarlıkların gelişmesinde rol oynamış önemli mühendislik yapılarıdır. Birçok malzemeden inşa edilebilmelerine rağmen günümüzde genellikle betonarme veya çelik köprüler kullanılmaktadır. Betonarme köprüler doğal afetler veya insan eliyle yıkılabilmekte veya hasar alabilmektedir (Özmen ve Sayın, 2020).

Hasar alan veya gerçekleşmesi olası bir deprem etkisi altında yeterli derecede dayanım, rijitlik ve sünekliğe sahip olmadığı düşünülen köprülerin güçlendirilmesi gerekebilmektedir. Güçlendirme yöntemleri üç şekilde olabilmektedir: i) betonarme mantolama, ii) çelik mantolama, iii) fiber takviyeli polimer (Evcen vd, 2013).

Lifli polimer kompozitler (FRP), yapı güçlendirme işleminde sıklıkla kullanılan malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır (Eid ve Paultre; 2017). Sıklıkla tercih edilmeleri çok hafif olmaları, kullanım kolaylığı, yüksek çekme dayanımına sahip olmalarından kaynaklanmaktadır (Lee vd., 2017).

Betonarme yapı elemanlarının güçlendirilmesinde FRP kompozit olarak sıklıkla karbon, daha az miktarda ise cam ve aramid kullanılabilmektedir. Kullanılan malzeme seçiminde dayanım, dayanıklılık, şekil değiştirme miktarı ve ekonomiklik gibi parametreler etkili olmaktadır (Sarıbıyık, 2017).

FRP kompozitlerin düşük dayanımlı beton kullanılarak inşa edilen yapı elemanlarının performansı üzerinde olumlu etkiler yarattığı literatürde yapılan çalışmalardan bilinmekte, ayrıca teknoloji ile birlikte değişen malzemelerin hesap ve davranış modelleri üzerindeki çalışmalar her geçen gün gelişerek devam etmektedir (İlki vd, 2003; Berthet vd , 2006; Rousakis vd, 2007; İlki vd, 2008; Lam ve Teng, 2009; Ozbakkaloglu ve Lim, 2013; Ustabas vd, 2020).

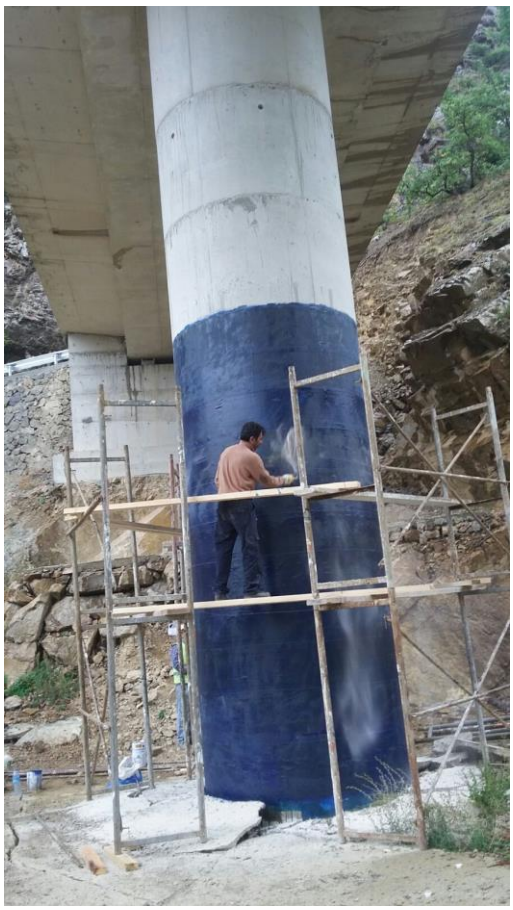
Literatürde son yıllarda FRP kompozitlerin betonarme kolonlara tam boy veya kısmi olarak sarılması ile ilgili birçok çalışma yer bulmaktadır (Mai vd 2018, Cao 2020, Liu vd 2020). İlki vd (2008), çalışmalarında düşük beton dayanımlı yetersiz etriyeli, normal beton dayanımlı yeterli etriyeli numuneleri FRP kalınlığı, yükleme tipi, en kesit, beton dayanımı, enine donatı miktarı, kenetlenme tipi gibi değişkenlerin etkisini araştırmak için test etmişlerdir. Sargı etkinliğinin düşük beton sınıfı için daha ön planda olduğunu belirtmişlerdir. Demir vd (2014) , CFRP ile sarılmış farklı beton sınıfına sahip kare kolonların davranışını araştırmışlardır. Ozbakkaloglu ve Akın (2012) FRP ile sarılmış, eksenel yük altındaki normal ve yüksek dayanımlı betonun deneysel çalışmasının sonuçlarını sunmuşlardır. Zhou vd (2016) çalışmalarında, hafif agregalı betonun mekanik özelliklerine FRP kumaşın etkisini araştırmışlardır. Aynı dayanıma sahip normal ve hafif agregalı betonun mekanik özelliklerinin farklı olduğunu belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde, Cfrp ile güçlendirmede beton sınıfı etkisi ile ilgili çalışmaların yeterli sayıda olmadığı gözlemlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, CFRP kumaş ile tam ve yarım boy sarılan betonarme köprülerde gerilme ve yerdeğiştirme değerlerine beton sınıfının etkisi incelenmiştir. Köprülerin projelendirilmesinde genel olarak kullanılan yükler köprüye etkitilmiş, C16-C60 arasındaki beton sınıfları için oluşan değerler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

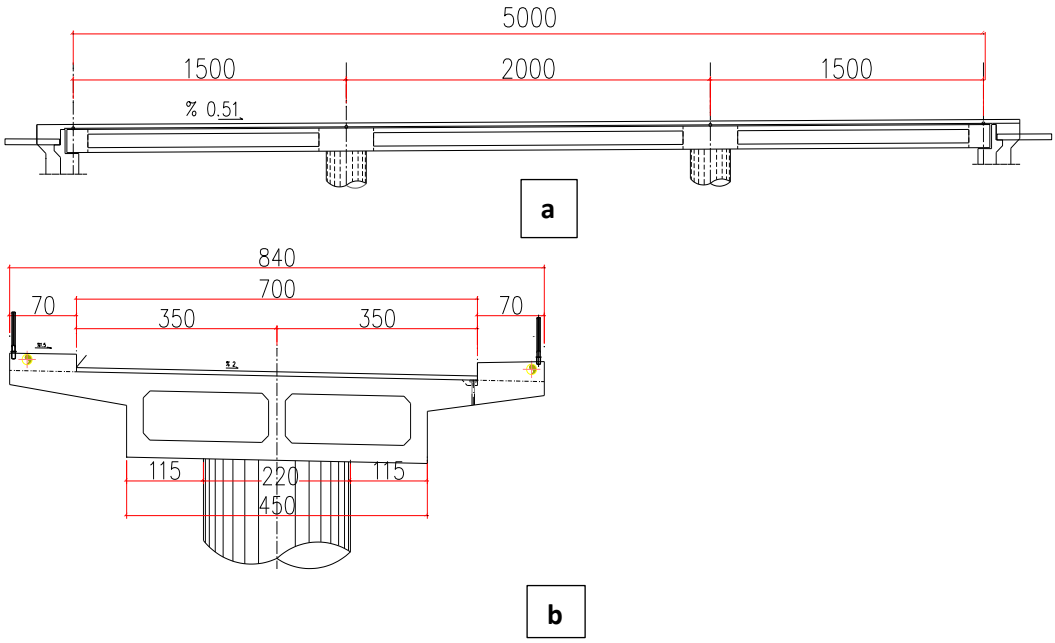
2. Materyal ve Metot

2.1. Köprü Bilgileri

İncesu köprüsü Artvin ili Şavşat ilçesinde bulunmaktadır. Boşluklu plak döşeme sistemine sahip olan köprü, toplamda üç açıklıklı olup, orta açıklığı 20 m, kenar açıklıkları simetrik bir şekilde 15 m uzunluğundadır. Köprü genişliği toplamda 8,40 m olup, köprü ayaklarının çapı 2,2 m'dir. Köprü temeli kare geometriye sahip olup kenar uzunluğu 6 m'dir. Köprü ayakları 13,60 ve 18,30 m yüksekliğe sahiptir. Şekil 1 ve Şekil 2'de köprü genel görünümü, boy ve en kesiti verilmektedir.



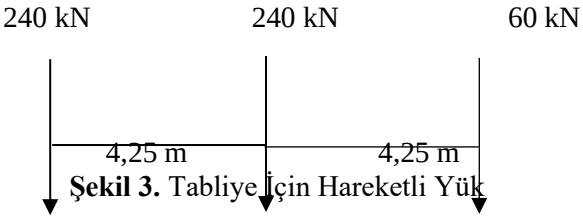
Şekil 1. İncesu Köprüsü



Şekil 2. Köprü boy (a) ve en kesiti (b)

2.2. Yükler

Köprüler kullanım amaçlarına göre servis ömürleri boyunca ölü yük, hareketli yük , deprem yükü, fren kuvveti , rötre-sünme-sıcaklık, yaya, toprak itkisi gibi birçok çeşitli yüke maruz kalabilmektedir (İmo). Çalışma kapsamında beton öz ağırlığı (2300 kg/m^3) olarak Ansys programı tarafından dikkate alınmıştır. Asfalt kaplama, tretuvar ve korkulukların öz ağırlıkları ayrıca hesaplanarak köprüye yayılı yük olarak etkittirilmiştir. Hareketli yük olarak ASSHTO gibi yönetmeliklerden yararlanılarak standart kamyon tipi olarak H30-S24 seçilmiştir.



Şekil 3. Tabliye İçin Hareketli Yük

Kenar Tabliye Açıklığı=15 m

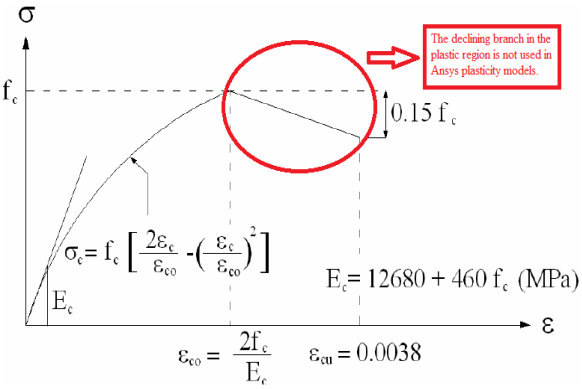
Orta Tabliye Açıklığı=20 m

Hareketli Yük Azaltma Katsayısı=0,75

Kenar tabliye için Pkenar=[240x15+240x(15-4,25)+60x(15-8,5)x(2x0,75x1,24)]/15= 460.36 kN orta tabliye için hareketli yük; Porta=[240x20+240x(20-4,25)+60x(20-8,5)x(2x0,75x1,24)]/20=493.17 kN olarak elde edilmiş, alana yayılı yük olarak köprüye etkittirilmiştir. Yaya yükü olarak 3 kN/m2 değeri kullanılmıştır. Yer hareketi için ise 1992 Erzincan deprem kaydının PSAmax(g)=0.525 g olduğu düşünülerek köprüye dik yönde 0.525 g, köprü doğrultusunda 0.3x0.525=0.158 g ivme olarak etkitilmiştir (Kurt and Tonyalı, 2020; Peer 2014).

2.3. Malzeme Özellikleri ve Modelleme

Köprünün C16-C60 arasındaki beton sınıfları ile inşa edildiği düşünülerek analizler tekrarlanmıştır. Beton için Hognestad beton modeli, CFRP için ise lineer-elastik malzeme modeli kullanılmıştır (Hognestad). Malzeme özellikleri Tablo 1 ve Tablo 2'de verilmektedir.



Şekil 4. Hognestad Beton Modeli (Bangash, 1989)

Köprü için temel tabanı ankastre mesnet, kenar tabliye kesiti için ise düşeyde ötelenme ve yatayda dönme serbestliği tanımlanmıştır. Köprünün genel geometrisi katı model olarak, CFRP katmanları ise kabuk eleman olarak modellenmiştir.

Tablo 1. CFRP Malzeme Özellikleri

Özellik	CFRP
Yoğunluk	1544 kg/m³,
Elastisite Modülü	230000 MPa.
Hacim Modülü	191670 MPa
Kayma Modülü	88462 MPa
Poisson Oranı	0.3

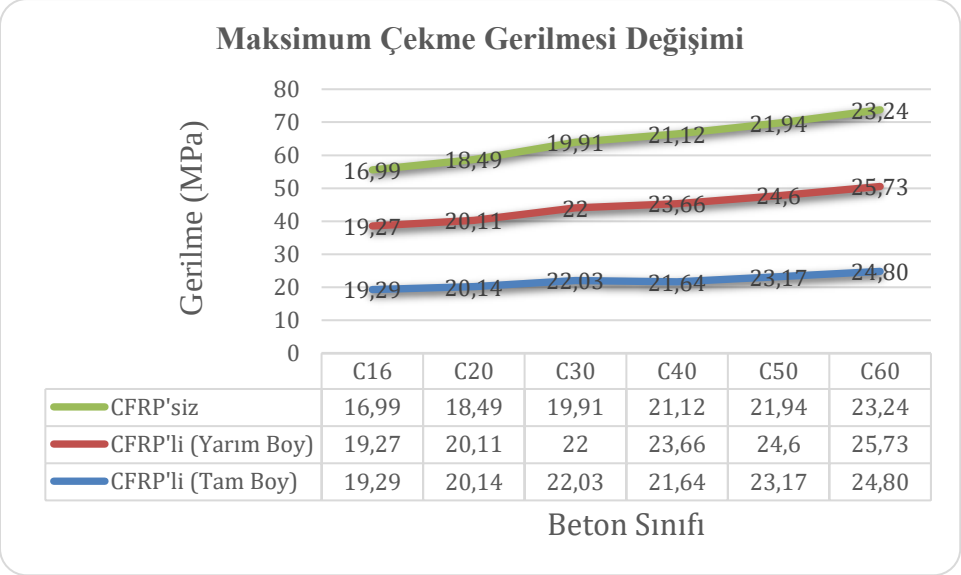
CFRP kumaş tek kat olarak köprü ayaklarına tam boy olarak sarılmıştır. Köprü ayağı ve CFRP kumaş arasında (bonded) kontak kullanılmıştır. Sonlu eleman ağı boyutları tetragonal olarak 40 cm seçilmiş, analizde yaklaşık 64862 eleman, 115146 düğüm noktası kullanılmıştır. Sonlu eleman ağı kalitesi ise ortalama olarak yaklaşık %80 civarında olmaktadır. CFRP kumaş kalınlığı 1 mm olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2. Beton Özellikleri

Parametreler	C16/20	C20/25	C30/37	C40/50	C50/60	C60/75
Yoğunluk (kg/m³)	2300	2300	2300	2300	2300	2300
Isıl Genleşme Katsayısı (C^{-1})	1,4E-05	1,4E-05	1,4E-05	1,4E-05	1,4E-05	1,4E-05
Elastisite Modülü (MPa)	18936	20500	24410	28320	32230	36140
Poisson Oranı	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Akma Basınç Dayanımı (MPa)	5,1	6.42	9.80	12.69	14,59	17,94
Nihai Çekme Dayanımı (MPa)	3	3	3	3	3	3
Beton Nihai Dayanımı (MPa)	13,6	17	25.5	34	42,5	51

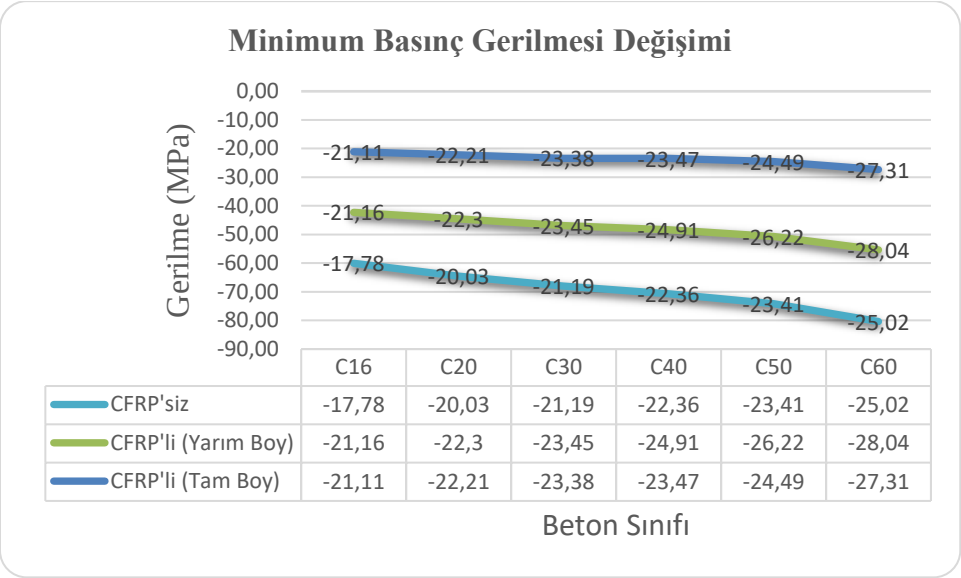
3. Bulgular / Bulgular ve Tartışma

Beton sınıfı artırılarak yapılan analizler sonucunda, köprü ayaklarındaki maksimum çekme gerilmeleri Şekil 5'te, minimum basınç gerilmeleri Şekil 6'da ve köprü toplam yerdeğiştirmeleri Şekil 7'de CFRP'ye bağlı olarak karşılaştırmalı olarak verilmektedir. Şekil 5' incelendiğinde, beton sınıfı C16'dan C60'a kadar artırıldığında, CFRP'siz maksimum çekme gerilmeleri 16,99'dan 23,24 MPa değerine ulaşarak yaklaşık %37 oranında, CFRP'li (yarım boy) modelde 19,27'den 25,73 MPa değerine ulaşarak yaklaşık %34 oranında, CFRP'li (tam boy) modelinde ise 19,29'dan 24,80 MPa değerine ulaşarak yaklaşık %29 oranında artmaktadır. Ancak bu değerler donatı emniyetli çekme gerilmesinden çok düşük olduğundan çok önemli bir parametre olmamaktadır.



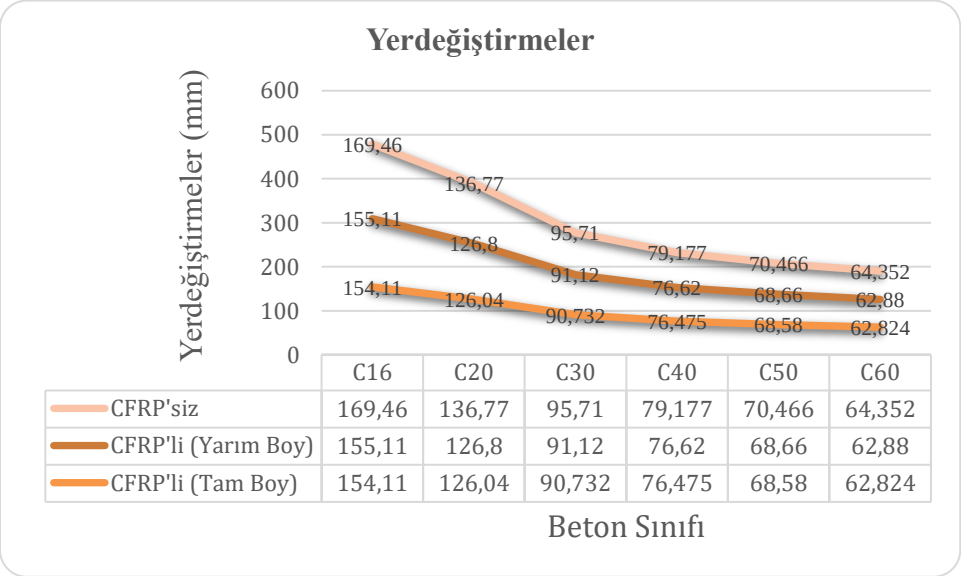
Şekil 5. Köprü Ayaklarındaki Maksimum Çekme Gerilmeleri

Şekil 6 incelendiğinde, CFRP'siz basınç gerilmeleri -17,78 'den -25,02 MPa değerine ulaşarak yaklaşık %41 oranında, CFRP'li (yarım boy) modelde -21,16'dan -28,04 MPa değerine ulaşarak yaklaşık %33,5 oranında, CFRP'li (tam boy) modelinde ise -21,11'den -27,31 MPa değerine ulaşarak yaklaşık %29 oranında artmaktadır. Negatif değer sonlu eleman programının gösteriminden kaynaklanmaktadır. Görüldüğü üzere, C16 ve C20 beton sınıfı değeri için köprü ayaklarındaki basınç gerilmeleri beton dayanımını aşmakta ve güvensiz olmaktadır.



Şekil 6. Köprü Ayaklarındaki Minimum Basınç Gerilmeleri

Şekil 7 incelendiğinde, CFRP'siz köprü toplam yerdeğiştirmeleri 169,46 mm'den 64,35 değerine düşerek yaklaşık %62 oranında, CFRP'li (yarım boy) modelde 155,11 mm'den 62,88 değerine düşerek yaklaşık %60 oranında, CFRP'li (tam boy) modelinde ise 154,11 mm'den 62,82 değerine düşerek yaklaşık %60 oranında azalmaktadır.



Şekil 7. Köprü Toplam Yerdeğiştirmeleri

5. Sonuçlar

Bu çalışma, CFRP kumaş sarılarak güçlendirilen betonarme bir köprünün değişen beton sınıfları için analizi sonucunda gerilme ve yerdeğiştirme değerlerinin değişiminin sonuçlarını sunmaktadır. Köprü toplamda 50 m uzunluğunda olup, analiz için Erzincan (1992) depremi Psa(max) değeri kullanılmıştır. Analiz için Ansys sonlu eleman programı kullanılmıştır. Analizler ile birlikte elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1) Beton sınıfı arttıkça Cfrp kullanımı durumunda maksimum çekme gerilmesi yaklaşık olarak %29 olarak artmaktadır. Ancak donatı dayanımı maksimum değerden çok daha fazla olduğundan anlamlı olmamaktadır.

2) Minimum basınç gerilmesi durumunda ise, C16 ve C20 beton sınıfı için köprü dayanımı yetersiz kalmakta, beton sınıfı C60 olduğunda ise yaklaşık olarak %29 artmaktadır. Ancak bu değer literatürde bulunan eksenel yük dayanımı artışları dikkate alındığında düşük bir değer olmaktadır.
3) Yerdeğiştirme değerleri ise beton sınıfı arttıkça yaklaşık olarak %60 azalmaktadır. Köprünün ayak yüksekliği 18,15 m olduğu gözönüne alındığında göreli yerdeğiştirme değerinin sınırlar içinde kaldığı ve anlamlı olmadığı anlaşılmaktadır.

Analiz sonucunda literatürde küçük boyutlu numuneler üzerinde elde edilen kapasite artışlarının büyük çaplı nümerik analiz ile elde edilemediği, gözönüne alınan beton sınıflarında gerilme ve yerdeğiştirme değerlerinin önemli ölçüde değişmediği gözlemlenmiştir.

Kaynaklar

AASHTO, (1993). American association of state highway and transportation officials, Guide for Design of Pavement Structures, Washington.

Özmen, A., Sayın, E. (2020). Tarihi Yığma Bir Köprünün Deprem Davranışının Değerlendirilmesi, Nöhü Müh. Bilim. Derg. / Nohu J. Eng. Sci., 9(2), 956-965.

Evcen, İ., Shafieezadeh, A. ve DesRoches, R., (2013). Betonarme köprü kolonları için farklı güçlendirme yöntemlerinin kırılganlık analizleri kullanılarak Değerlendirilmesi. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, (pp. ?-?). Hatay.

Eid, R., Paultre, P., (2017). Compressive behavior of FRP-confined reinforced concrete columns. Eng. Struct, 132, 518– 530.

Lee, D.H., Han, S.J., Kim, K.S., LaFave, J.M. (2017). Shear strength of reinforced concrete beams strengthened in shear using externally-bonded FRP composites. Composite Structures, 173, 177–187.

Ilki, A., Kumbasar, N., and Koç, V. (2003). Low and medium strength concrete members confined by fiber reinforced polymer jackets, Arı Bull Istanbul Tech. Univ, 53(1).

J. F. Berthet, E. Ferrier, and P. Hamelin (2006). Compressive behavior of concrete externally confined by composite jackets: Part B: Modeling. Constr. Build. Mater., 20(5), 338–347.

Ilki, A., Peker, O., Karamuk, E., Demir, C. and Kumbasar, N. (2008). FRP Retrofit of Low and Medium Strength Circular and Rectangular Reinforced Concrete Columns. J. Mater. Civ. Eng., 20 (2), 169–188.

Lam, L., and Teng, J. G. (2009). Stress-strain model for FRP-confined concrete under cyclic axial compression. Eng. Struct., 31(2), 308–321.

Rousakis, T.C., Karabinis, A. I. and Kiousis, P.D. (2007). FRP-confined concrete members: Axial compression experiments and plasticity modelling. Eng. Struct., 29(7), 1343–1353.

Ozbakkaloglu, T., and Lim, J. C. (2013). Axial compressive behavior of FRP-confined concrete: Experimental test database and a new design-oriented model. Compos. Part B Eng., 55, 607–634.

Ustabas, İ., Gürbüz, A., Kurt, Z. ve Deşik, F. (2020). Betonda Cfrp Sargı Uygulamasının Deneysel Ve Analitik Olarak Karşılaştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 8(3), 921-930.

Kurt, Z. And Tonyali, Z. (2020). Performance Analysis of a Reinforced Concrete Frame System According to TBEC-2018. Sciennovation, 1(2), 6 – 22.

Erişim adresi https://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/829b0b6f682b751_ek.pdf?tipi=79&turu=X&sube=15.

Bangash, M. Y. H., (1989). Concrete and Concrete Structures Numerical Modelling and Applications. Elsevier Science Publishers Ltd., England.

Demir, C., Kucukkapili, A., Doyrangol, D. and Ilki, A. (2014). The effects of loading rate and duration on the axial behavior of low-strength and medium-strength noncircular concrete members confined by fiber-reinforced polymer sheets. Polymers, 6(6), 1685-1704.

Ozbakkaloglu, T. And Akın, E. (2012). Behavior of FRP-confined normal- and high-strength concrete under cyclic axial compression. J. Compos. Constr. ,16, 451–463.

Ilki, A., Peker, O., Karamuk, E., Demir, C. And Kumbasar, N. (2008). FRP retrofit of low and medium strength circular and rectangular reinforced concrete columns. J. Mater. Civ. Eng., 20, 169–188.

Zhou, Y., Liu, X., Xing, F., Cui., H. and Sui, L. (2016). Axial compressive behavior of FRP-confined lightweight aggregate concrete: an experimental study and stress-strain relation model. Constr. Build. Mater., 119, 1-15.

Pacific Earthquake Engineering Research Center, Ground Motion Database, (2021, April 19). Retrieved from http://ngawest2.berkeley.edu/.

Aytaç, E. (2011). CFRP Güçlendirme Malzemesi ve Güçlendirme Teknikleri. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

ANSYS 20.2, 2020. ANSYS Inc., Canonsburg, PA.

Gölbaşı (Adıyaman) Arazi Kullanım Değişiminin Spektral Açı Haritalama Yöntemi ile Belirlenmesi

Determination of Gölbaşı (Adıyaman) Land Use Change by Spectral Angle Mapping Method

Berna TANRIVERDİ*[1], Osman ORHAN[1], Senem TEKİN[2]
[1]*Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ABD, Mersin*
[2]*Adıyaman Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Madencilik ve Maden Çıkarım Bölümü, Adıyaman*

Öz

Var olan yeryüzünün çoğunlukla insan faktörü olan sanayileşme, kentleşme, tarım vb. faaliyetlerin yanında oluşabilecek doğal afetlere karşı bilinçsiz ve kontrolsüz kullanımı ve bunun sonuçları ile ortaya çıkan problemler hem beşeri hem de doğal faktörleri olumsuz etkilemekte, maddi ve manevi zararlara sebep olmaktadır. Neden olunan bu sonuçları en aza indirmek için en uygun arazi kullanım seçeneklerinin belirlenmesi ve uygulanması için arazi ve toprak potansiyelinin sistematik olarak değerlendirilmesi amacıyla arazi kullanım planlamalarının önemi her geçen gün artmaktadır. Gelişen Uzaktan Algılama yazılımları ile de geçmişten günümüze kadar meydana gelen arazi kullanım değişimlerini izleyerek, gelecek için daha bilinçli ve planlı bir arazi kullanım planlaması yapılması önem arz etmektedir. Bu çalışmada Adıyaman ili Merkez – Gölbaşı ilçeleri arasındaki bölgede 2000, 2010, 2020 yılları arasındaki arazi kullanımında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Analizlerde 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat-5 TM ve 8-OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Elde edilen uydu görüntüleri ile öncelikli olarak geometrik, radyometrik kalibrasyon ve atmosferik düzeltmelerden oluşan ön işleme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arazi kullanım değişim tespitinde Spektral Açı haritalama yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 2000-2020 yılları arasında yerleşim, ekili tarım arazileri, orman ve göl alanlarında % 187, % 227, % 78 ve % 48'lik büyüme gelişirken, çıplak ve ekili olmayan tarım alanlarda ise % 12 ve % 17'lik oranlarda azalış meydana gelmiştir. Aynı zamanda alan içerisinde kalan 54.40 km uzunluğundaki Besni fayına atanan 250 m'lik tampon bölge içerisindeki yerleşim birimlerinde meydana gelen değişimler değerlendirilmiş olup;. 2000 ile 2020 yılları arasında % 17 oranında azalış olduğu belirlenmiştir. Yapılan kontrollü sınıflama çalışmalarının doğruluğu kappa istatistiği ile değerlendirilmiş olup 2000, 2010 ve 2020 yılları için sırasıyla 0.81, 0.82, 0.87 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar kelimeler: Adıyaman, Arazi kullanım değişimi, Landsat, Uzaktan algılama.

Abstract

The unconscious and uncontrolled use of the existing earth against activities such as industrialization, urbanization, and agriculture are mostly human factors. The problems such as natural hazards resulting from this negatively affect both human and natural factors and cause material and moral damages. The importance of land-use planning is increasing day by day to systematically evaluate the land and soil potential for the determination and implementation of the most suitable land usage to minimize these caused consequences. It is essential to make a more conscious and accurate land use planning for the future by following the land-use changes from the past to the present with the developing Remote Sensing techniques. In this study, the changes in land use between 2000, 2010 and 2020 in the region between Adıyaman city center and Gölbaşı districts were examined. Landsat-5 TM and 8-OLI satellite images with 30 m spatial resolution were used in the analyzes. Pre-processing studies, consisting primarily of

geometric, radiometric calibration and atmospheric corrections, were performed with the satellite images obtained. The spectral Angle mapping

method was used to determine land-use change. According to the results, between the years 2000-2020, 187%, 227%, 78% and 48% growth was observed in the settlement, cultivated agricultural land, forest and lake areas, respectively, while in bare and non-cultivated agricultural lands, 12% and 17% rates have decreased. At the same time, the changes occurring in the settlements within the 250 m buffer zone assigned to the 54.40 km long Besni fault within the study area were evaluated. It was determined that there was a 17% decrease between 2000 and 2020. The accuracy of the controlled classification study was evaluated with kappa statistics and it was calculated as 0.81, 0.82, 0.87 for the years 2000, 2010 and 2020, respectively.

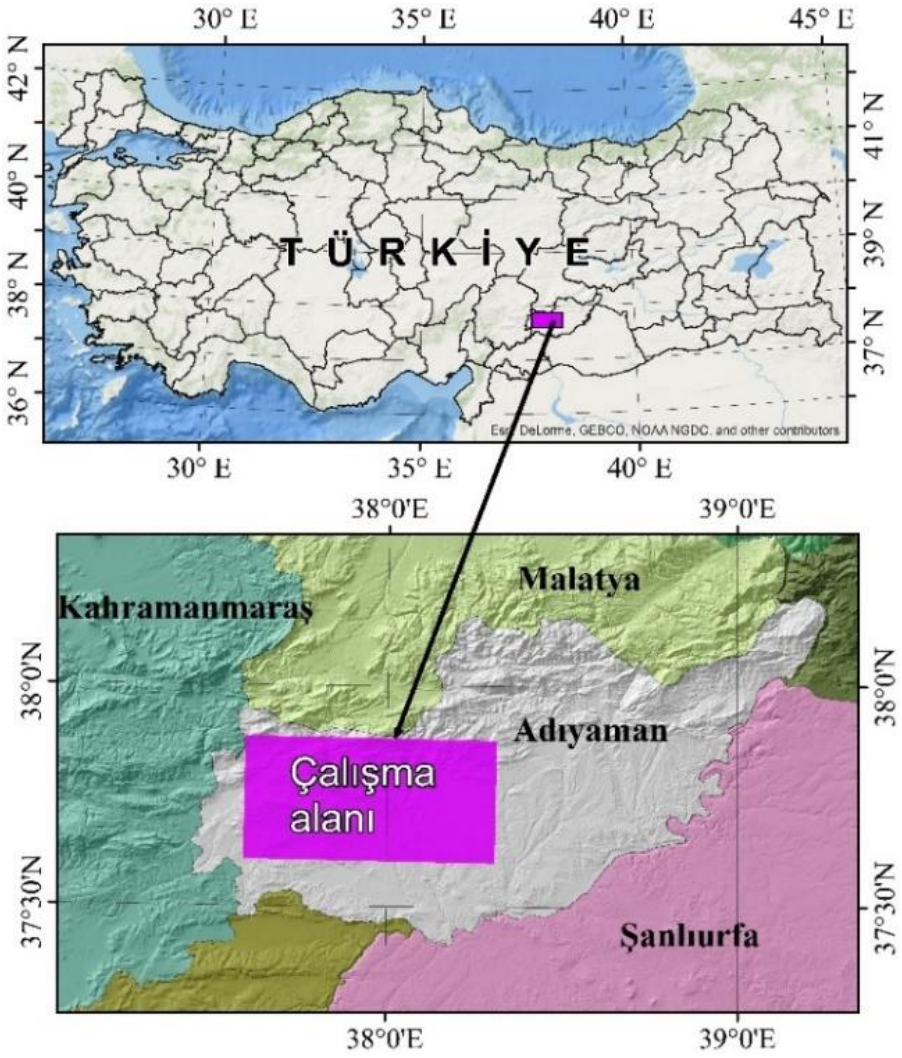
Keywords: Adıyaman, Landsat, , Land use change, Remote sensing.

1. Giriş

Arazi kullanım değişim tespiti, son yıllarda küresel iklim değişimleri başta olmak üzere, imar planları, düzenli peyzaj yönetimi gibi konularda önemli rol oynamaktadır. Arazi kullanımının doğru şekilde planlanması, planların yürürlüğe girdirilmesi birçok konu için önemli olmakla birlikte; aktif fay hatlarının bulunduğu yerleşim bölgeleri içinde dikkat edilmesi gereken konulardan birini oluşturmaktadır. doğal ekolojik sistemlerin anlaşılması, bölgeye ait toprak yapısı, jeoloji yapının değerlendirilmesi, iklim senaryolarına ait verilerin değerlendirilmesi gibi süreçlerle birlikte değerlendirilmelidir.

Arazi değişimi küresel nüfus artışı, iklim değişimleri, yaşam standartları ve yaşam koşullarına göre geçmişten günümüze sürekli değişim içerisindedir. Gelişmekte olan ülkelerde düzensiz yapılaşma, plansız büyümeler neticesinde özellikle yerleşime uygun olmayan alanlara doğru birçok bölgede yerleşim yerleri artmaktadır.

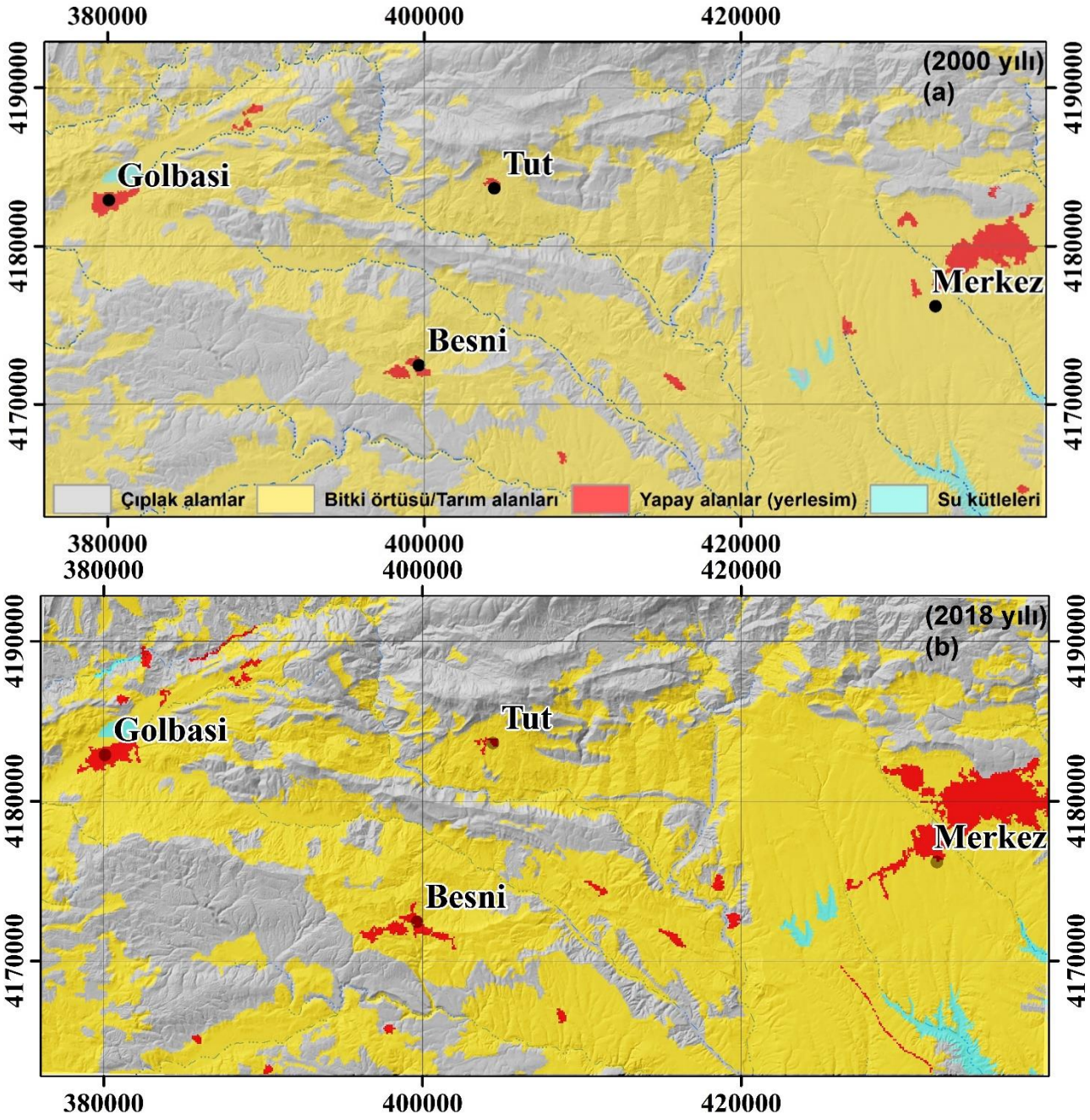
Uzaktan algılama teknikleri ile arazi kullanımında meydana gelen değişimlerin tespitinde birçok yöntem kullanılmaktadır (Helmer vd. 2000; Dennison vd. 2004; Irish vd. 2006; Elatawneh vd. 2010; Anggraeni ve Lin 2011; Huang vd. 2012; Forzieri vd. 2013; Borges ve Sano 2014; Agapiou vd. 2014; Elmahdy ve Mohamed 2016; Aswatha vd. 2017; Adep vd. 2017; Karakus vd. 2017; Awad 2018). Arazi kullanımında meydana gelen değişimler, obje tabanlı olup nesneler arasındaki benzerlik derecelerine göre sınıflandırılmaktadır. Genel olarak değişim analizi farklı zamanlara ait uydu görüntülerinde, meydana gelen değişimlerin sayısal olarak belirlenmesini amaçlayan uygulamalar bütünüdür. Bu kapsamda genel olarak, arazi kullanımında meydana gelen değişiklerin tespitinde çok zamanlı uydu görüntülerine ve bu görüntülerin ön işleme aşamaları olan, geometrik ve atmosferik düzeltmelerin doğru değerlendirilmesine bağlı olup bu veriler doğrultusunda yapılacak sınıflama çalışmalarının doğruluğunun da mutlaka incelenmesini gerektirmektedir (Stow 1999; Verbyla ve Boles 2000; Carvalho vd. 2001; Nigussie ve Altunkaynak 2019; Olayiwola ve Fakayode 2019; Padmanaban vd. 2019; Putro ve Prasetiyowati 2019; Rahman vd. 2019; Thanikachalam ve Nimalan 2019; Tornaghi ve Dehaene 2019; Yoon vd. 2019). Bu çalışmada Adıyaman ili Merkez – Gölbaşı ilçeleri arasındaki bölgede 2000, 2010, 2020 yılları arasındaki arazi kullanımında meydana gelen değişimler Landsat uydu görüntüleri spektral açı haritalama (SAH) yöntemi kullanılarak arazi değişim tespiti yapılmıştır.



Şekil 1. Çalışma alanı yer Bulduru haritası.

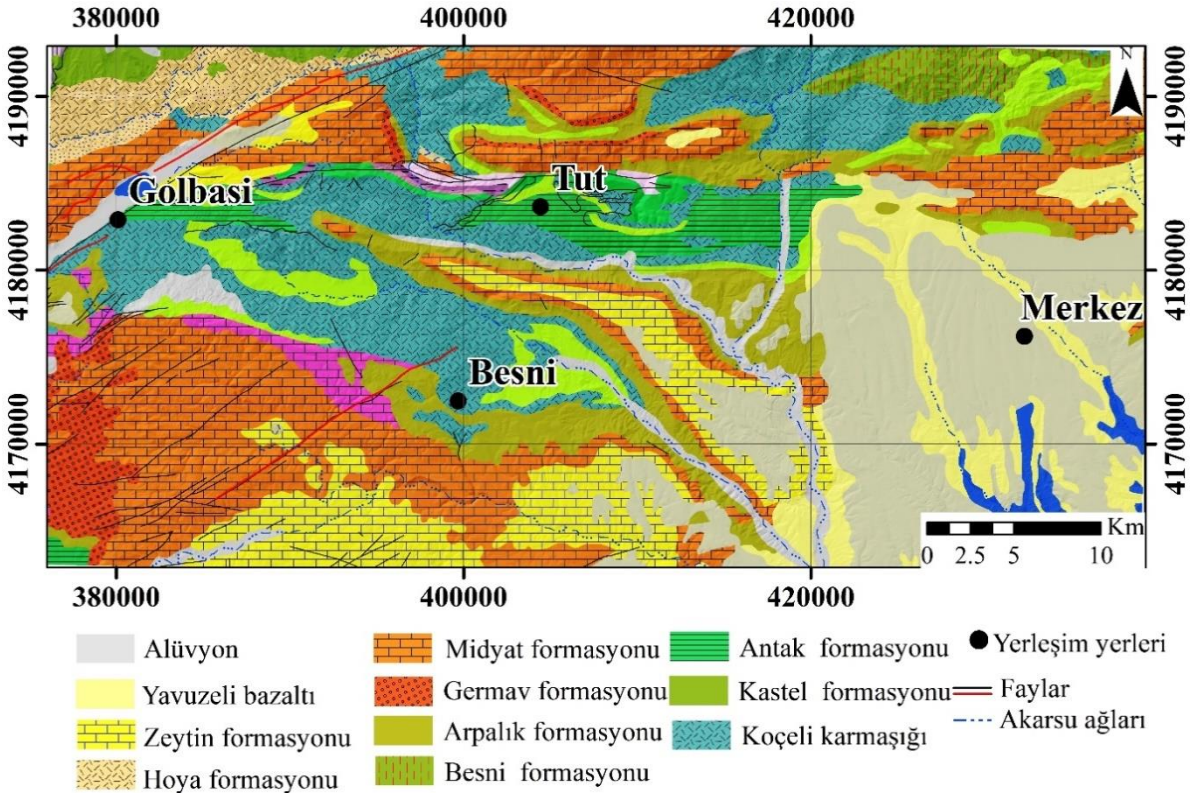
2. Çalışma Alanı ve Materyal

Arazi örtüsü değişimlerinin çok hızlı bir şekilde değişmesi, çevre ve iklim gibi önemli parametrelerde değişimlere yol açmaktadır. Dolayısıyla arazi kullanım planlama çalışmalarında bu değişimlerin daha hızlı tespit edilmesine yönelik geçmiş tarihli uydu görüntüleri kullanılarak değişim tespiti yapılabilmektedir. Avrupa Birliği ölçütlerine göre Avrupa Çevre Ajansı'nın belirlediği kriterler ve sınıflandırma sistemi doğrultusunda CORINE arazi örtü haritası 1990, 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarında 100 metre mekansal çözünürlükte tüm Avrupa Birliği ülkeleri ve Türkiye için hazırlanmıştır. Corine 2000 ve 2018 verilerine göre çalışma alanında çıplak alanlar, bitki örtüsü/tarım alanları, yapay alanlar (yerleşim), su kütleleri olmak üzere 4 sınıf yer almaktadır (Şekil 2). Bu sınıflara göre; çalışma alanına ait 2000 yılı sınıflarının, % 51.20'si bitki örtüsü/tarım alanları, % 47.29'u çıplak alanlar ve % 2'lik kısmını ise yerleşim yerleri oluşturmaktayken 2018 yılında özellikle yerleşim yerlerinde artış olduğu görülmektedir.

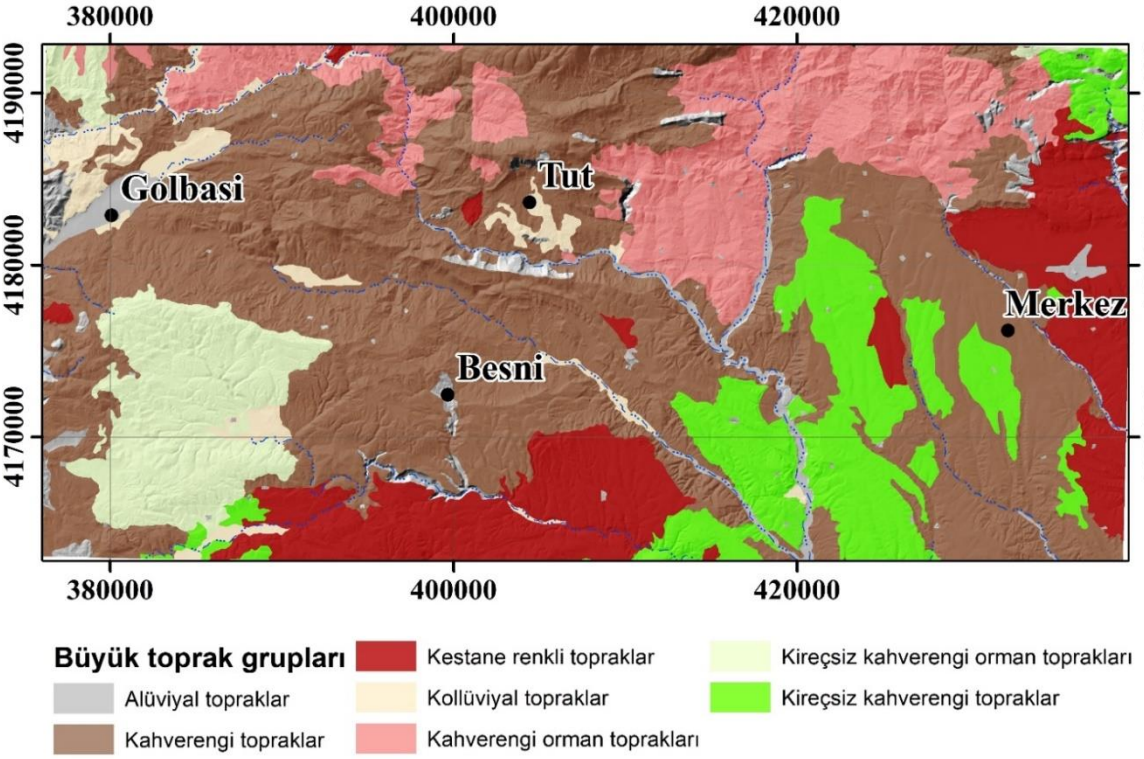


Şekil 2: CORINE 2000 (a), 2018 (b) arazi örtü haritası (https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover).

Çalışma alanı ve civarında temelde Koçali Karmaşığı yer almaktadır. Birimin üzerine uyumsuzlukla otokton birimler yüzeylemektedir. Jura-Alt Kretase yaşlı Koçali karmaşığı, Koçali ofiyoliti ile volkano-sedimanter özellikteki Koçali melanjını kapsamaktadır (Akbaş vd., 2011). Otokton birimler olarak; Katel, Antak, Besni, Arpalık, Germav, Midyat, Hoya, Zeytin formasyonları, Yavuzeli bazaltı ve alüvyonlardan oluşmaktadır (Şekil 3). Türkiye toprak haritasında (Karabulut vd. 2011) yer alan büyük toprak gruplarına göre (Şekil 4), Alüviyal, Kollüviyal, Kahverengi, Kestane renkli, Kahverengi orman, Kireçsiz kahverengi orman ve Kireçsiz kahverengi tipi topraklar yer almaktadır. Bu sınıflar içerisinde özellikle Besni ve Gölbaşı ilçeleri arasında olmak üzere genel olarak % 47.59'luk bir oranda Kahverengi topraklar yer almaktadır.



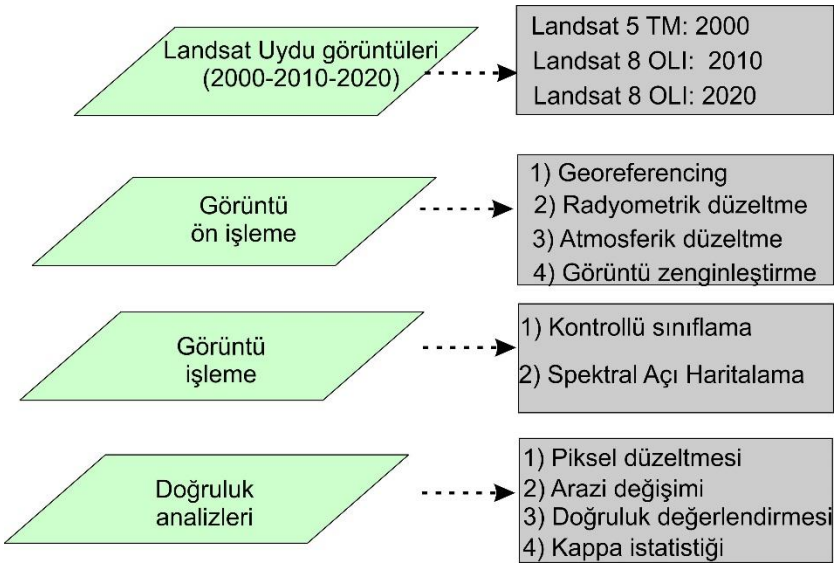
Şekil 3. Çalışma alanına ait jeoloji haritası (Akbaş vd., 2011)..



Şekil 4. Toprak haritası (Karabulut vd. 2011)

3. Metot

Arazi sınıflarında meydana gelen değişimlerin tespit edilmesine yönelik farklı tarihli uydu görüntüleri kullanılarak bölgeye ait değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu değerlendirme süreçlerinde seçilecek uydu görüntülerinin bölgeyi ait radyometrik, mekansal ve zamansal özelliklerini iyi bir şekilde temsil etmesi gerekmektedir. Uydu görüntüleri temin edildikten sonra, gerekli bant kombinasyonları yapıldıktan sonra, görüntü işleme ve elde edilen arazi sınıflarına ait doğruluk analizlerinin gerçekleştirilme çalışmaları yapılmaktadır (Şekil 5). Görüntü önişleme sırasında, geometrik, radyometrik ve atmosferik düzeltme olmak üzere 3 farklı işlem yapılmaktadır. Geometrik düzeltme aşamasında analizlerde kullanılan 3 görüntü arasındaki geometrik bozukluklar belirli kontrol noktaları kullanılarak birbiri ile uyumlu hale getirilmektedir. Ham haldeki uydu görüntülerinde geometrik bozulma etkileri var ise bunların düzeltilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Transverse Mercator projeksiyonu ve ED50 datumu Zone 37 projeksiyon sistemi kullanılmıştır. 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait görüntülerde belirlenen kontrol noktalarında lokal değerlendirmeler yapılmıştır. yapılan değerlendirmeler Kök Ortalama Kare Hata (RMSE) analizleri ile değerlendirilmiştir. RMSE analizlerine göre elde edilen sonuçların 0.5'den küçük olması yapılan değerlendirmenin doğruluğunun yüksek olduğunu göstermektedir (Lunetta ve Elvidge 1998). Radyometrik düzeltme aşamasında ise; görüntülerdeki düzensiz ve yanlış algılamalara neden olan atmosferik etkilerin giderilmesi ve algılayıcılar tarafından algılanan radyasyondan objeleri tam olarak temsil etmeyen yansımaların düzeltilmesi amacıyla radyometrik kalibrasyon düzeltmeleri gerçekleştirilmiştir. Su buharı ve aerosoller gibi atmosferik etkileri ortadan kaldırmak için, çalışmada kullanılan Landsat uydu görüntülerinde, atmosferik düzeltme flat field (topoğrafik) , empirical line ve FLAASH (Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes) yöntemleri ile yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmış olup bölgeyi en doğru yansıtan parlaklık değerleri FLAASH yöntemi ile elde edilmiştir. Kontrollü sınıflandırma yöntemlerinden literatürde de en çok tercih edilen yöntem olan Spektral Açı Haritalama (SAH) yöntemi kullanılmıştır. Uydu verileri ile kullanılan birçok haritalama ve sınıflandırma analizlerinden en popülerinden biri olan SAH yöntemi, nesneler arasındaki benzerlik derecesinin kullanıldığı bir sınıflandırma yöntemidir (Massironi vd. 2008; Gürsoy 2016; Fan vd. 2018; Ahmad vd. 2019; Gopinath vd. 2020; Gannouni ve Rebai 2020, Traore vd., 2020). SAH, her nesnenin yansıtma değerleri, yönü ile hedef sınıflama grupları arasındaki özellikleri belirlemektedir. Her bir nesne, vektörel olarak ifade edilmekte ve belirli bir uzunluğu bulunmaktadır (Traore vd., 2020). SAH yönteminde, referans olarak kullanılan spektral yansıtım verilerine göre oluşturulan referans vektörü ile uydu görüntüsü piksel değerlerinden meydana gelen, sınıfı bilinmeyen piksel değerleri ile oluşturulan vektör arasındaki açı hesaplanmaktadır. Hesaplanan açı değeri, daha önceden referans spektral sınıfı için belirlenen benzerlik değerinden küçük veya eşitse, sınıfı bilinmeyen piksel, ilgili referans spektral sınıfına atanmaktadır (Luc vd. 2005). Bu çalışmada her iki referans veri içinde benzerlik eşik değeri 0.023 radyan olarak tespit edilmiştir. Bantların geri yansımasındaki değişkenlikler, vektörün uzunluğunu etkilemektedir. Bu nedenle farklı spektral değerler arasındaki karakteristik değişkenlikler kendilerine ait vektörler arasındaki açının da değişmesine neden olmaktadır. SAH'da, verinin bilinen yansıtım değerlerinin fiziksel olarak, iki spektrum arasındaki benzerlikleri spektral vektörleri arasındaki açıları kullanarak hesaplayan bir algoritma ile çalışmaktadır (Uysal vd. 2017). Uydu görüntülerinden elde edilen sınıflandırma sonuçlarının doğruluk analizleri, Sınıflandırılmış görüntüde, verilerin içerdikleri hata oranlarının yani, sınıflandırılmış görüntünün gerçekliğe uygunluk durumunun belirlenmesi için, sınıflandırılmış görüntüden seçilen test alanlarının, yer gerçeği verileri ile karşılaştırılmasıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5: Çalışma yönteminde izlenen aşamalar

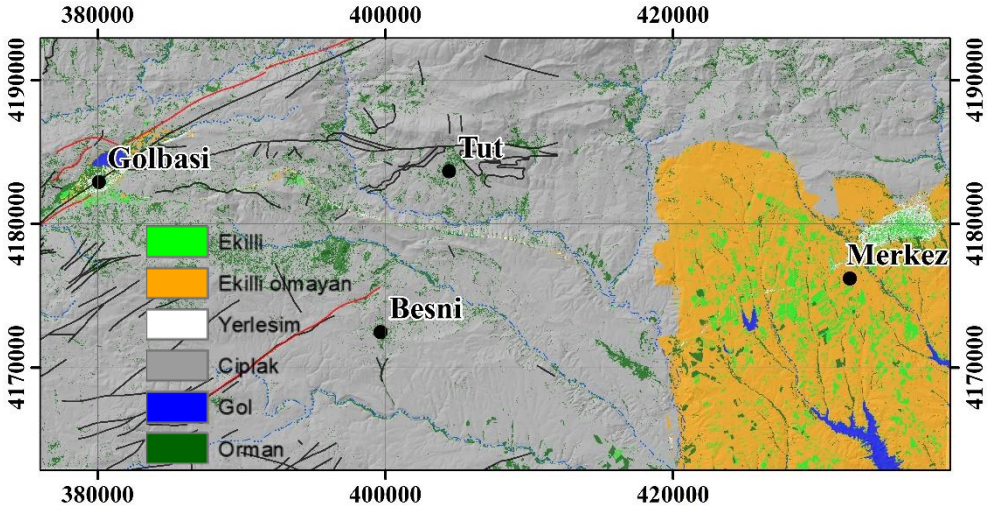
4. Bulgular

Bu çalışmada Adıyaman ili Merkez – Gölbaşı ilçeleri arasındaki bölgede 2000, 2010, 2020 yılları arasındaki arazi kullanımında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Analizlerde 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip Landsat-5 TM ve 8-OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uzaktan Algılama ile Landsat uydu görüntüleri kullanılarak 18 yıllık süre içerisinde arazi sınıflarında meydana gelen değişimler tespit edilmiştir. 3 farklı tarihli uydu görüntüleri Ekili, Ekili olmayan tarım alanları, yerleşim, çıplak (örtüsüz alanlar), Göl ve orman alanları olarak sınıflandırılmıştır (Şekil 6). Buna göre çalışma alanında en büyük alanın çıplak (örtüsüz) alanların olduğu belirlenmiştir.

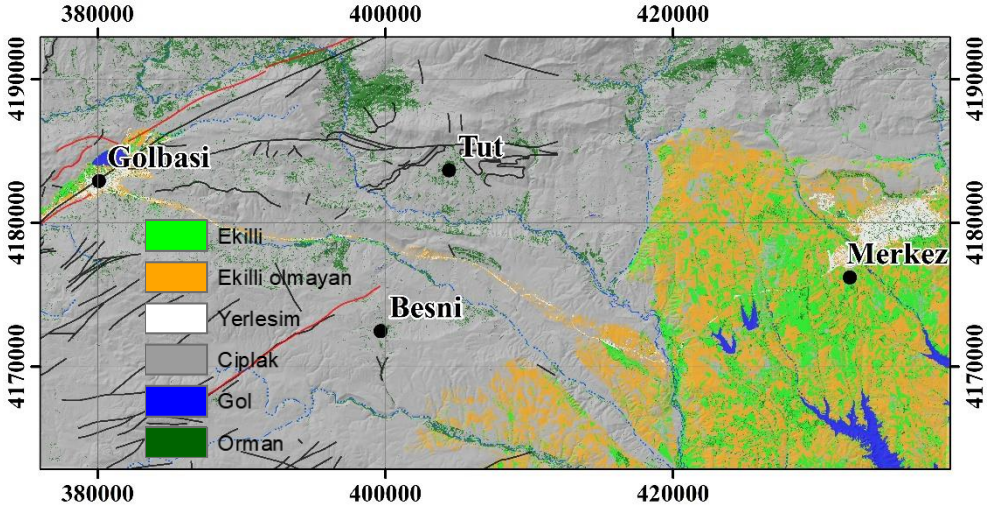
Çalışma alanına ait 20 yıllık süreçteki arazi sınıflarındaki değişim miktarı eşitlik 1'e göre hesaplatılmış olup % değişim miktarları ise eşitlik 2'ye göre hesaplanmıştır (İslam vd., 2017; Wiafe ve Assamoah 2018). Yapılan değerlendirmelere göre özellikle yerleşim birimlerinde artış olduğu görülmektedir. Her bir zaman aralığında meydana gelen yüzde arazi değişimleri Şekil 6 a, b ve c'de görülmektedir. 2000 ve 2020 arazi değişim sınıflarından, Ekili olmayan tarım, çıplak alanlarda azalma meydana gelirken, yerleşim, ekili tarım alanları ve Orman sınıflarında ise artış meydana geldiği belirlenmiştir (Tablo 1).

$$Alan\ değişimi = ilk\ yıl - Son\ yıl \quad (1)$$

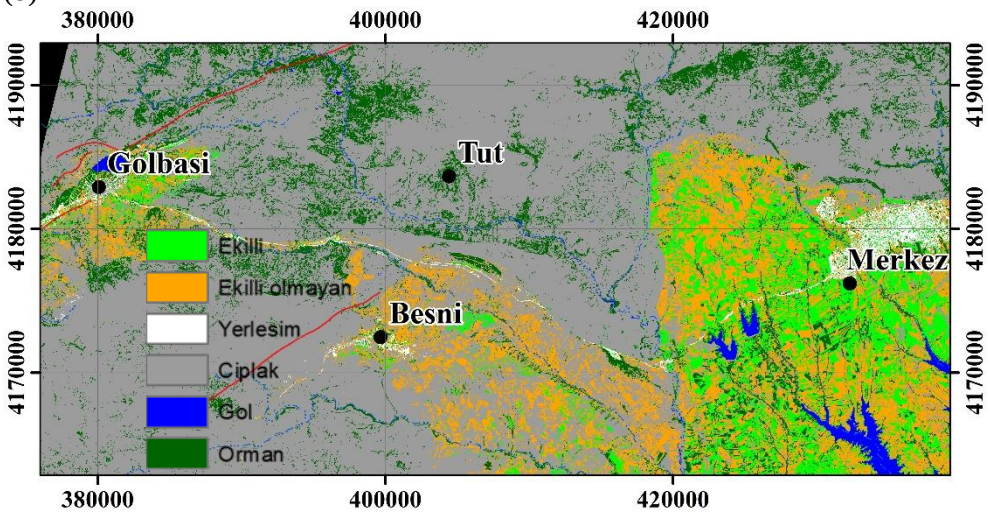
$$Yüzde\ değişimi = \frac{Alan\ değişimi * 100}{ilk\ yıl} \quad (2)$$



(a)



(b)



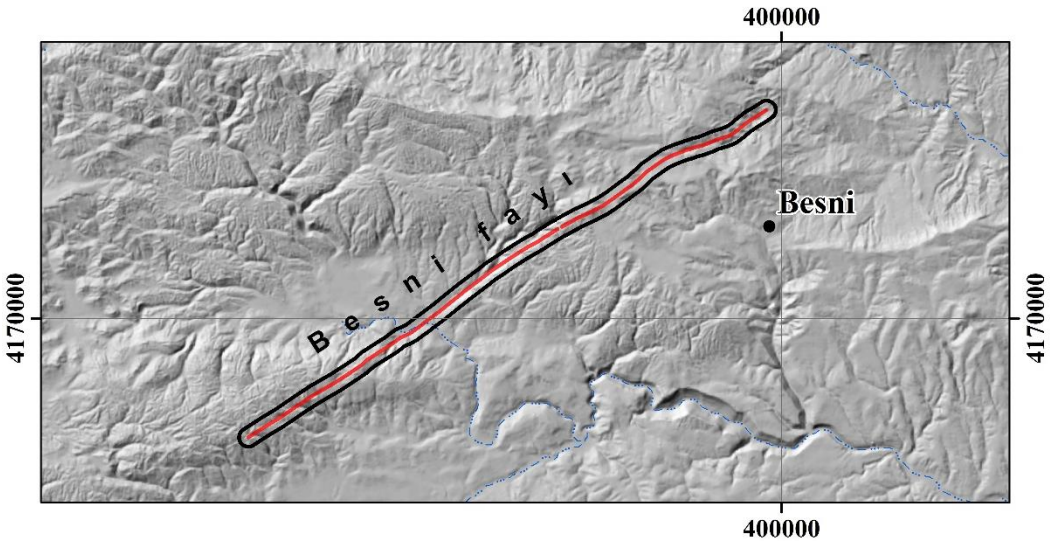
(c)

Şekil 6. 2000 (a), 2010 (b) ve 2020 (c) yılları için arazi kullanımı haritası

Tablo 1. 1985, 2000 ve 2019 yıllarındaki arazi kullanımının arazi örtüsü sınıflarına ait alan ve yüzde değerleri

Arazi sınıf isimleri	2000	2010	2020
	%	%	%
Ekili	2.50	7.58	8.17
Ekili olmayan	16.99	13.61	13.99
Yerleşim	0.45	1.16	1.30
Çıplak	72.69	70.71	63.62
Göl	0.76	1.10	1.12
Orman	6.62	5.84	11.80

Yerleşim alanlarının düzenli planlanması için yapılması gereken çalışmalarda, mikro ve makro boyutlarda doğal afet olası tehlikelerin değerlendirilmesi yer almaktadır. Aktif fay hatları boyunca yerleşim birimlerinin artması gelişecek muhtemel bir deprem sonrasında insan yaşamı ve doğal yapılarda meydana gelecek kayıplar için risk oluşturmaktadır. Çalışma alanı içerisinde Türkiye diri fay haritasına göre (Emre vd. 2018) aktif fay hatlarından biri olan 54.40 km uzunluğundaki Besni fayının (Şekil 7) yer alması sebebiyle, aktif fay hattı boyunca 250 metrelik tampon bölge oluşturularak arazi kullanımının nasıl bir süreç içerisinde ilerlediği incelenmiştir. Besni fayına atanan 250 m'lik tampon bölge içerisindeki yerleşim birimlerinde meydana gelen değişimler değerlendirilmiş olup;. 2000 ile 2020 yılları arasında % 17 oranında azalış olduğu belirlenmiştir.



Şekil 7. Besni fayı civarına ait 250 m'lik tampon bölge sınırı.

Sınıflamaların performans değerlendirmesi genel doğruluk için hata matrisi, sınıflamalar arasındaki istatistiksel farklılıklar ise Kappa istatistiği kullanılarak yapılmıştır. Kappa istatistiği, referans verileri ile kullanıcı tarafından tanımlanan sınıflama verileri arasındaki bir ölçüm kriteridir (Cohen 1960; Landis ve Koch 1977). Kontrol referans noktaları olarak, toprak, jeoloji, Google Earth görüntüleri ile arazi gözlemlerinden faydalanılmıştır. Arazi sınıflarına ait doğruluk istatistiksel yaklaşımlara dayanan kappa katsayısı (κ) ile hesaplanmıştır. Kappa istatistiği ile elde edilen Kappa katsayısı 0 - 1 arasında sonuç vermektedir. 2000, 2010 ve 2020 yıllarına ait belirlenen sınıfların doğruluk analizleri her üç zaman içinde 121 noktaya ait genel doğruluk ve Kappa değerleri hesaplanmıştır. Buna göre; Sınıflandırma hata matrisleri incelendiğinde, 2000, 2010 ve 2020 yılları için sırasıyla 0.81, 0.82, 0.87 olarak hesaplanmıştır (Tablo 2).

Tablo 2. Kappa istatistiği ve genel doğruluk sonuçları.

	2000		**2010**		**2020**	
	Referans verileri	**Tanımlama verileri**	**Referans verileri**	**Tanımlama verileri**	**Referans verileri**	**Tanımlama verileri**
Ekili	76.92	76.92	89.91	76.92	76.57	84.62
Ekili olmayan	76.92	76.92	82.62	84.62	82.62	84.62
Yerleşim	83.33	76.92	79.57	84.62	100	92.31
Çıplak	84.62	84.62	78.57	84.62	100	92.31
Göl	75.00	92.31	91.67	84.62	100.00	100.00
Orman	81.82	69.23	91.67	84.62	84.62	84.62
Genel doğruluk	**% 80.00**		**% 84.62**		**% 87.91**	
Kappa	**0.81**		**0.82**		**0.87**	

5. Sonuçlar

Arazi kullanımı insan etkisiyle sürekli değişen dinamik süreçler bütünüdür. Değişimler farklı ölçeklerde mekansal sürdürülebilirlik konusunda önemli altlık değerlendirmeleri içermektedir. Bu çalışmada Adıyaman iline bağlı Merkez, Besni ve Gölbaşı ilçeleri arasında kalan bölge için 20 yıllık süreçteki arazi kullanım değişim tespiti yapılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları ile arazi kullanım planlama çalışmaları için ışık tutacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Adep R.N., Shetty A., Ramesh H., (2017), EXhype: A tool for mineral classification using hyperspectral data, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *124*, 106-118.

Agapiou A., Alexakis D.D., Sarris A., Themistocleous K., Papoutsa C., Hadjimitsis D.G., (2014), Satellite-derived land use changes along the Xin'an river watershed for supporting water quality investigation for potential fishing grounds in Qiandao Lake, China Second International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (Rscy2014), (Hadjimitsis D.F., Themistocleous K., Michaelides S., Papadavid G., Ed.), doi: 10.1117/12.2066314.

Ahmad N., Ahsan N., Said S., (2019), Land use mapping of Yamuna river flood plain in Delhi using K-Mean and spectral angle image classification algorithms, *Water and Energy International, 62(5),* 63-68.

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ.E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H.Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri, 2011, 1:1.250.000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara-Türkiye.

Anggraeni A., Lin C.S., (2011), Application of SAM and SVM Techniques to Burned Area Detection for Landsat TM Images in Forests of South Sumatra, 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, Singapore, ss.160- 164.

Aswatha S.M., Mukhopadhyay J., Biswas P.K., (2017), Semi-supervised classification of land cover in multi-spectral images using spectral slopes, Proceedings Ninth International Conference on Advances in Pattern Recognition (Icapr) Bangalore, India, ss.338-343.

Awad M.M., (2018), Forest mapping: a comparison between hyperspectral and multispectral images and technologies, Journal of Forestry Research, 29, 1395-1405.

Borges E.F., Sano E.E., (2014), Temporal series of EVI from MODIS sensor for land use and land cover mapping of western Bahia, BCG - Boletim de Ciências Geodésicas, doi:10.1590/S1982-21702014000200030.

Carvalho L.M.T., Fonseca L.M.G., Murtagh F., Cleves J.G.P.W., (2001), Digital change detection with the aid of multiresolution wavelet analysis. International Journal of Remote Sensing, 22, 3871–3876.

Cohen J.A., (1960), Coefficient of agreement for nominal scales, Educational and Psychological Measurement, 20, 37-46.

Dennison P.E., Halligan K.Q., Roberts D.A., (2004), A comparison of error metrics and constraints for multiple endmember spectral mixture analysis and spectral angle mapper, Remote Sensing of Environment, 93(3), 359-367.

Elatawneh A., Manakos I., Kalaitzidis C., Schneider T., (2010), Land-cover classification and unmixing of hyperion image in area of Anopoli, Imagin [E,G] Europe, Proceedings of the 29th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories içinde, (Manakos I, Kalaitzidis C., Ed.), Greece, ss. 111-121.

Elmahdy S.I., Mohamed M.M., (2016), Land use/land cover change impact on groundwater quantity and quality: a case study of Ajman Emirate, the United Arab Emirates, using remote sensing and GIS, Arabian Journal of Geoscience, doi: 10.1007/s12517- 016-2725-y.

Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S., Şaroğlu F., Olgun Ş., Elmacı H., Çan T., (2018), Active fault database of Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering, 16(8), 3229-3275.

Fan C., Zhang P., Wang S., Hu B., (2018), A study on classification of mineral pigments based on spectral angle mapper and decision tree, Tenth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2018) Proceedings, Shanghai, China, doi:10.1117/12.2503088.

Forzieri G., Tanteri L., Moser G., Catani F., (2013), Mapping natural and urban environments using airborne multi-sensor ADS40- MIVIS-LiDAR synergies, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 23:313-323.

Gannouni S., Rebai N., (2020), Comparative Analysis of the Classification of Maximum Reality (MVS) and the Spectral Angle Mapper (SAM) of an Aster Image. Case Study: Soil Occupancy in the Main Area (Tunisia), In Mapping and Spatial Analysis of Socio- economic and Environmental Indicators for Sustainable Development, Springer, Cham, doi:10.1007/978-3-030-21166-0_5.

Gopinath G., Sasidharan N., Surendran U., (2020), Landuse classification of hyperspectral data by spectral angle mapper and support vector machine in humid tropical region of India, Earth Science Informatics, doi:10.1007/s12145-019-00438-4 1-8.

Gürsoy, Ö., (2016). Determining the most appropriate classification methods for water quality. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing, Vol. 44, No. 2, p. 022038.

Helmer E.H., Brown S., Cohen W.B., (2000), Mapping montane tropical forest successional stage and land use with multi-date Landsat imagery, International Journal of Remote Sensing, 21(11), 2163-2183.

Huang B., Zhang H.K., Yu L., (2012), Improving Landsat ETM plus urban area mapping via spatial and angular fusion with MISR multi-angle observations, IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Observ. Remote Sensing, 5(1), 101–109.

Irish R.R., Barker J.L., Goward S.N., Arvidson T., (2006), Characterization of the Landsat-7 ETM+ automated cloud-cover assessment (ACCA) algorithm, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 72(10), 1179-1188.

Islam K., Jashimuddin M., Nath B., Nath T. K., (2017), Land use classification and change detection by using multi-temporal remotely sensed imagery: The case of Chunati wildlife sanctuary, Bangladesh, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 21(1), 37–47.

Karabulut A., Elbaşı F., Ustaoğlu S., Yatman D., (2011), Türkiye büyük toprak grubu haritası, Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Mekanizasyon ve Bilişim Teknolojileri Bölümü, Ankara.

Karakus P., Karabork H., Kaya S., (2017), A comparison of the classification accuracies in determining the land cover of Kadirli Region of Turkey by using the pixel based and object based classification algorithms, International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG), 2(2), 52-60.

Landis J.R., Koch G.G., (1977), The measurement of observer agreement for categorical data, Biometrics, 33(1), 159–174.

Luc B., Deronde B., Kempeneers P., Debruyn W., Provoost S., (2005), Optimized spectral angle mapper classification of spatially heterogeneous dynamic dune vegetation, a case study along the Belgian coastline, 9th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing (ISPMSRS), Beijing, China.

Lunetta R. S., and Elvidge C.D., (1998), Remote Sensing change détection, environmental monitoring methods and applications. Ann Arbor Press,Ann Arbor(Michigan) 318 p.

Massironi M., Bertoldi L., Calafa P., Visonà D., Bistacchi A., Giardino C., Schiavo A., (2008), Interpretation and processing of ASTER data for geological mapping and granitoids detection in the Saghro massif (eastern AntiAtlas, Morocco). Geosphere, 4, 736−759. Nigussie T.A., Altunkaynak A., (2019), Modeling the effect of urbanization on flood risk in Ayamama Watershed, Istanbul, Turkey,

using the MIKE 21 FM model, Natural Hazards, 99, 1031-1047.

Olayiwola A.M., Fakayode O., (2019), Landscape metrics analysis of land use patterns and changes in suburban local government areas of Ibadan, Nigeria, South African Journal of Geomatics, 8(2), 209-220.

Padmanaban R., Bhowmik A.K., Cabral P., (2019), Satellite image fusion to detect changing surface permeability and emerging urban heat islands in a fast-growing city, Plos One, doi: 10.1371/journal.pone.0208949.

Putro S.T., Prasetiyowati S.H., (2019), Challenges in collecting primary data for environmental research purposes: a case study in Parangtritis sand dune, Yogyakarta, First International Conference on Environmental Geography and Geography Education (Icege) 243, doi:10.1088/1755-1315/243/1/012004.

Rahman M.K., Schmidlin T.W., Munro-Stasiuk M.J., Curtis A., (2019), Geospatial analysis of land loss, land cover change, and landuse patterns of Kutubdia Island, Bangladesh, Environmental Information Systems: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications içinde, doi:10.4018/978-1-5225-7033-2.ch048.

Stow D.A., (1999), Reducing the effects of misregistration on pixel-level change detection, International Journal of Remote Sensing, 20, 2477–2483.

Thanikachalam M., Nimalan K., (2019), Investigation and prediction of urban-sprawl and land-use changes for Chennai city using geo-spatial technologies, Indian Journal of Geo-Marine Sciences (IJMS), 48(09), 1443-1451.

Tornaghi C., Dehaene M., (2019), The prefigurative power of urban political agroecology: rethinking the urbanisms of agroecological transitions for food system transformation, Agroecology and Sustainable Food Systems, doi:10.1080/21683565.2019.1680593.

Traore M., Tekin S., Çan T.,(2020), Land Use Change Detection Between Tarsus - Karataş in Lower Seyhan Plain with Spectral Angle Mapper Technique, Doğ Afet Çev Derg, 2020; 6(2): 415-430, DOI: 10.21324/dacd.660148

Uysal M, Turgut B, Polat N, Mehmet A. D , Yalçın M., (2017), Uzaktan algılama teknikleri ile açık maden ocaklarında bor minerallerinin tespiti, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17, Özel Sayı, 270-276.

Verbyla D.L., Boles S.H., (2000), Bias in land cover change estimates due to misregistration, International Journal of Remote Sensing, 21, 3553–3560.

Wiafe E.D, Asamoah G., (2018), Land-cover change assessment in Ejisu –Juabeng district in Ghana, Eurasian Journal of Forest Science, 6(1), 1-8.

Yoon E., Thorne J., Park C., Lee D.K., Kim K., Yoon H., Seo C., Lim C.H., Kim H., Song Y., (2019), Modeling spatial climate change landuse adaptation with multi-objective genetic algorithms to improve resilience for rice yield and species richness and to mitigate disaster risk, Environmental Research Letter, 14(2), 1-10.

Sınıflandırma Yöntemi İle Corine Veri Tabanı İçin Bilgi Üretilmesi: Balıkesir, Bandırma İlçesi Örneği

Tuğçe AKAN*[1,a], Fulya Başak SARIYILMAZ[2,b]
[1]Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

Öz

Bu çalışmada, Balıkesir ili Bandırma ilçesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bandırma, sahil ilçesi olması sebebiyle turizm açısından gelişmiş bir ilçedir. Aynı zamanda ilçe, birinci derece deprem bölgesinde bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı sınıflandırma yöntemi ile üretilen arazi örtüsü ve arazi kullanımı (AÖAK) haritalarının CORINE veri tabanı için uygunluğunun değerlendirilmesidir. Bu çalışmada 2000 tarihli LANDSAT TM ve 2018 tarihli LANDSAT OLI görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında uydu görüntülerine piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi uygulanmıştır. Kontrolsüz ve kontrollü sınıflandırmanın uygun şekilde bir arada kullanıldığı hibrit sınıflandırma ve ardından doğruluk analizi aşamaları sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemi ile CORINE sınıflandırma hiyerarşisinin birinci seviyesine ait bilgi sınıfları oluşturulmuştur. Bu bilgi sınıfları; yapay yüzeyler, su varlığı, tarım alanları, orman ve yarı doğal alanlardır. Çalışmanın ikinci aşamasında sınıflandırılmış görüntüler CORINE veri tabanı ile uyumlu olması için, en küçük haritalama birimi 25 ha olacak şekilde genelleştirilmiştir. Genelleştirilmiş sınıflandırma sonuçları CORINE Arazi Örtüsü veri tabanı ile karşılaştırılmıştır ve uyumu incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Arazi Kullanımı, Arazi Örtüsü, Bandırma, CORINE, Sınıflandırma

1. GİRİŞ

Arazi örtüsü terimi, arazinin; orman, ekin ya da yapay yüzeyler gibi biyo - fiziksel örtüsünü, arazi kullanımı terimi ise arazinin tarım amaçlı alan ya da yerleşim alanı gibi sosyo – ekonomik kullanımını ifade etmektedir (Url-1). Arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının belirlenmesi ve alansal olarak ortaya konması planlama ve değerlendirme çalışmalarında temel oluşturmaktadır (Sarıyılmaz, 2017). Bu konuda literatürde Sarıyılmaz vd. (2017) çalışmalarında, Sazlıdere Havzası arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarını belirlemek için 2000 ve 2012 tarihli LANDSAT uydu görüntülerini CORINE sınıflandırma sisteminin birinci seviyesine göre sınıflandırarak uygunluğunu araştırmışlardır. Sınıflandırma sonucunda dört adet bilgi sınıfı belirlenmiştir. Bu sınıflar; su varlığı, orman ve yarı doğal alanlar, tarım alanı ve yapay yüzeylerdir. Sınıflandırma sonucunda görüntülere doğruluk analizi işlemi uygulamışlardır. En küçük haritalama birimleri 0.09 ha ve 0.64 ha'ya sahip olan kontrollü sınıflandırılmış uydu görüntüleri, CORINE sınıflandırma sistemi verileriyle uyumlu olması için en küçük haritalama birimi 25 ha olacak şekilde genelleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, uydu görüntüleri üzerinden arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıfları CLC 2000 ve CLC 2012 verileri ile karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma sonucunda nitelik ve nicelik açısından birbiriyle uyumlu olduğunu tespit etmiştir.

Bu çalışmada, 2000 tarihli LANDSAT TM ve 2018 tarihli LANDSAT OLI uydu görüntülerine piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi uygulanarak elde edilen arazi örtüsü ve arazi kullanımı haritalarının CORINE veri tabanı için uygunluğu değerlendirilmiştir. Çalışmada, kontrolsüz ve kontrollü sınıflandırılmanın bir arada kullanıldığı hibrit sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Sınıflandırma sonucunda elde edilen veriler ile doğruluk analizi işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırılmış görüntüler CORINE veri tabanı ile uyumlu olması için, en küçük haritalama birimi 25 ha olacak şekilde genelleştirilmiştir. Genelleştirilmiş sınıflandırma sonuçları CORINE Arazi Örtüsü veri tabanı ile karşılaştırılmıştır ve uyumu incelenmiştir.

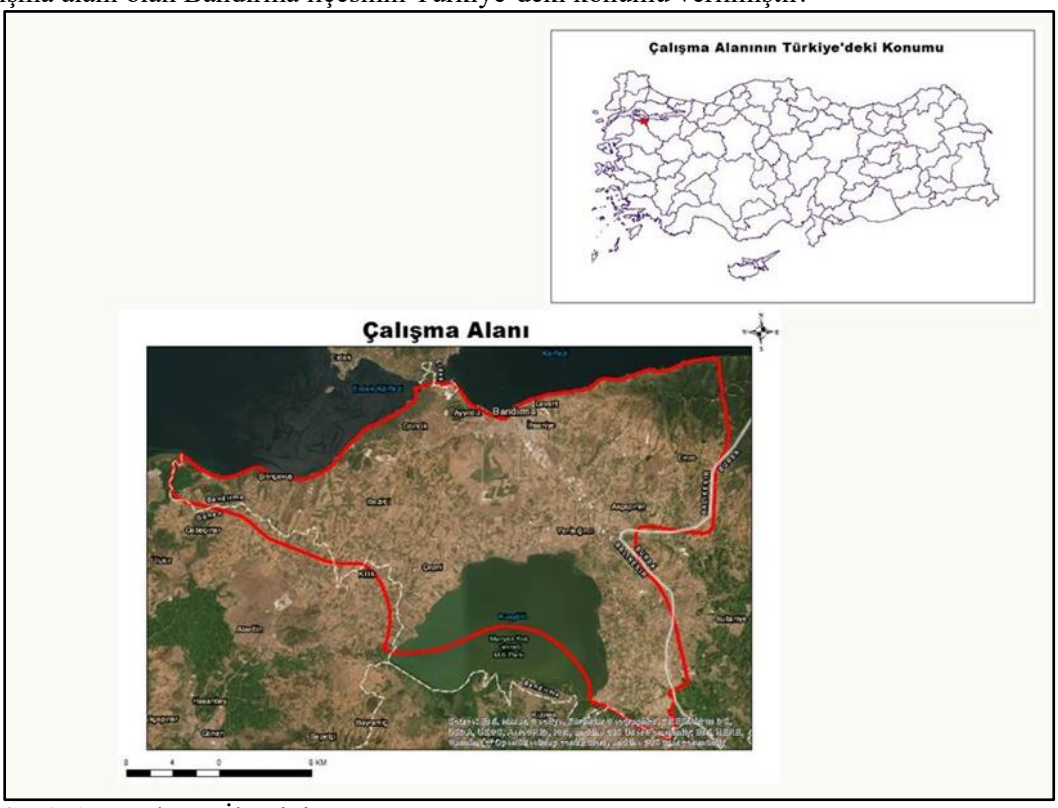
Literatürde, uzaktan algılama ve CORINE sınıflandırma hiyerarşisi yöntemlerini kullanarak gerçekleştirilmiş çeşitli çalışmalar mevcuttur (Erol ve Çanga, 2003; Başayiğit, 2004; Dengiz ve Akgül, 2005; Ateşoğlu, 2006; Kılıç ve vd., 2007; Güre ve vd., 2009; Akbulak, 2010; Yılmaz ve Erdem, 2011; Aydoğdu ve vd., 2012; Sarıyılmaz, 2012; Yıldırımer, 2013; Gençer ve vd., 2014; Kanar ve Dengiz, 2015;

Sönmez ve vd., 2016; Bayar ve Karabacak, 2017; Yılmaz ve vd., 2018; Keleş ve Durduran, 2019; Canpolat ve Dağlı, 2020; Doğrama, 2020).

2. ÇALIŞMA ALANI

Balıkesir ili 14.583 km²'lik yüzölçümüyle Türkiye'nin en büyük on yedinci ilidir. İlin topraklarının büyük bir kısmı Marmara Bölgesi'nde, geri kalan kısmı da Ege Bölgesi'ndedir. Hem Marmara hem de Ege Denizi'ne kıyı bulunmakta olup Türkiye genelinde iki deniz ile komşu olan 6 ilden biridir. 290,5 km'lik kıyı bandının 115,5 km'si Ege Denizi'de, 175 km'si de Marmara Denizi'ndedir (Url-2). Balıkesir'in sahil kesimlerinde zeytincilik, bağcılık ve balıkçılık yapılırken iç kesimlerinde tarım, hayvancılık, ormancılık ve madencilik yapılmaktadır. Dolayısıyla ilin başlıca geçim kaynağı tarım ve hayvancılıktır. (Url-2). Balıkesir, denize kıyısı olan bir il olması nedeniyle deniz turizmi açısından da oldukça gelişmiş bir ildir. İl kış turizminden mahrum olsa da kaplıca turizmi de yapılmaktadır (Url-2).

Çalışma alanı olarak seçilen Bandırma ilçesi, 690 km²'lik bir alana sahip olup Balıkesir ilinin gelişmiş ilçeleri arasında yer almaktadır. Bandırma, Marmara Denizi kıyısında, Balıkesir iline bağlı bir sahil ilçesidir. Bandırma ilçesinin güneyinde Manyas Gölü bulunmaktadır. Son yıllarda hızla gelişen Bandırma, aynı zamanda Türkiye'nin en büyük limanlarından birine de sahip olan bir ilçedir (Url-3). Düzenli olarak İstanbul'dan feribot seferleri yapılmaktadır ve büyük yoğunlukla turist ağırlamaktadır. TÜİK verilere göre 2000 yılında 120.753 nüfusuna sahip olan ilçenin 2018 yılında ise 154.359'a kadar yükseldiği gözlemlenmiştir (Url-4). İlçede, körfezin içine giren bir fay hattı bulunduğundan birinci derece deprem kuşağında yer almaktadır. Bandırma'nın arazi yapısı kuzeyden güneye doğru kısmen dağlık ve engebelidir (Arslan ve Üzülmez, 2019). Dolayısıyla kırsal kesimlerde tarımcılık yapılmaktadır. Şekil 1'de çalışma alanı olan Bandırma ilçesinin Türkiye'deki konumu verilmiştir.



Şekil 1. Bandırma İlçesinin Konumu

3. KULLANILAN VERİLER

3.1. CORINE Sınıflandırma Sistemi

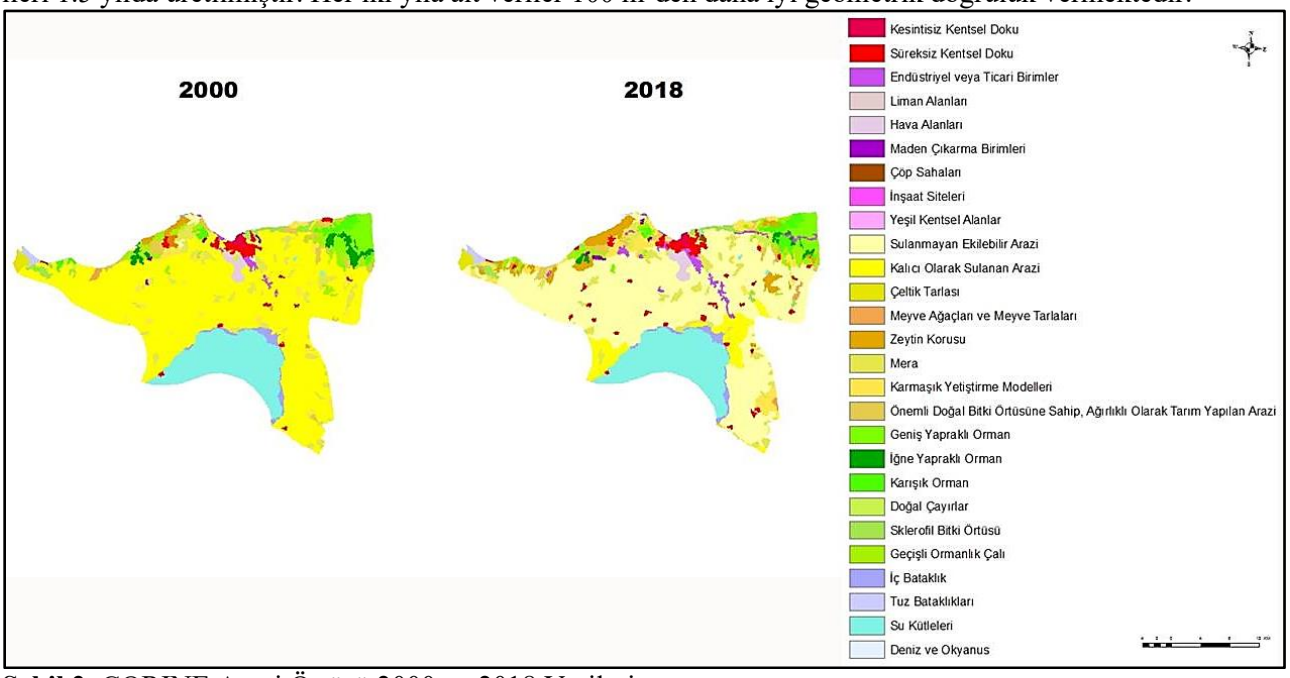
Bu çalışma kapsamında uygulanan sınıflandırma işleminde bilgi sınıfları belirlenirken CORINE sınıflandırma sisteminden yararlanılmıştır. CLC 2000 ve CLC 2018 verileri, aynı tarihli LANDSAT TM ve OLI uydu görüntülerinin hibrit sınıflandırılması ile elde edilen sonuçlar ve sınıflandırılmış görüntülerin genelleştirilmesi ile elde edilmiş sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

CORINE Arazi Örtüsü (CLC – CORINE Land Cover) envanteri 1985 yılında Avrupa Çevre Ajansı (AÇA – EEA, European Environment Agency) tarafından başlatılmıştır. CORINE Projesi'nin temel amacı; Avrupa Çevre Ajansı'nın belirlediği kriterler ve sınıflandırma sistemi doğrultusunda AÇA' ya üye

tüm ülkelerde, arazideki çevresel değişimlerin belirlenmesi, doğal kaynakların rasyonel biçimde yönetilmesi ve çevre ile ilgili politikaların oluşturulması amaçlarına yönelik, aynı temel verilerin yönetilmesi ve standart bir veri tabanının oluşturulmasıdır (Url-5).

CORINE Projesi, tüm Avrupa kıtasında Avrupa Çevre Ajansı (AÇA) tarafından belirlenen arazi örtüsü sınıflandırması doğrultusunda uydu görüntüleri üzerinden bilgisayar destekli görsel yorumlama metodu ile 1/100.000 ölçekte arazi örtüsü haritalarının üretilmesi işini kapsamaktadır (Url-5). Güncellemeleri; 2000, 2006, 2012 ve 2018 yıllarında yapılmıştır. Arazi örtüsü envanteri 3 düzey, 44 sınıftan oluşmaktadır. Bu çalışmada CORINE sınıflandırma hiyerarşisinin birinci seviye sınıfları üretilmiş olup, çalışma alanı olan Bandırma ilçesi bu sınıflardan dört tanesini kapsamaktadır. CLC, alansal olgular için 25 hektarlık (ha), Minimum Haritalama Birimi (MMU - Minimum Mapping Unit) ve doğrusal olgular için minimum 100 m genişlik kullanmaktadır. (Url-6).

Bu çalışma kapsamında kullanılan CLC 2000 verileri 30 m mekansal çözünürlüklü LANDSAT ETM görüntülerinden, CLC 2018 verileri ise 10 m mekansal çözünürlüklü SENTİNEL-2 ve 30 m mekansal çözünürlüklü LANDSAT 8 OLI görüntülerinden elde edilmiştir. CLC 2000 verileri dört yılda, CLC 2018 verileri 1.5 yılda üretilmiştir. Her iki yıla ait veriler 100 m'den daha iyi geometrik doğruluk vermektedir.



Şekil 2. CORINE Arazi Örtüsü 2000 ve 2018 Verileri

Şekil 2'de çalışma sınırları içinde kalan CORINE Arazi Örtüsü verileri üçüncü seviye sınıfları gösterilmektedir. Bu çalışmada ise CORINE Arazi Örtüsü verilerinin birinci seviye sınıfları kullanılmıştır. Bu sınıflar; orman ve yarı doğal alanlar, tarım alanları, su varlığı ve yapay yüzeylerdir. Üçüncü sınıf seviyesindeki; kesintisiz kentsel doku, süreksiz kentsel doku, endüstriyel veya ticari birimler, liman alanları, hava limanları, maden çıkarma birimleri, çöp sahaları, inşaat siteleri, yeşil kentsel alanlar sınıfları birinci seviye sınıflarından yapay yüzeyleri temsil etmektedir. Sulanmayan ekilebilir arazi, kalıcı olarak sulanan arazi, çeltik tarlası, meyve ağaçları ve meyve tarlaları, mera, zeytin korusu, karmaşık yetiştirme modelleri, önemli doğal bitkisine sahip ağırlıklı olarak tarım yapılan arazi sınıfları tarım alanı sınıfını temsil etmektedir. Geniş yapraklı orman, iğne yapraklı orman, karışık orman, doğal çayırlar, sklerofil bitki örtüsü, geçişli ormanlık çalı sınıfları orman ve yarı doğal alanlar sınıfını temsil etmektedir. İç bataklık, tuz bataklıkları, su kütleleri, deniz ve okyanus sınıfı ise su varlığı sınıfını temsil etmektedir.

3.2. LANDSAT Uydu Görüntüleri

Bandırma ilçesinin arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarını belirlemek için; 7 Mayıs 2000 tarihli LANDSAT TM ve 23 Nisan 2018 tarihli LANDSAT OLI uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri LANDSAT USGS web sitesinden ücretsiz olarak sağlanmıştır. Uydu görüntülerinin algılayıcı özellikleri Tablo 1' de verilmiştir.

Tablo 1. LANDSAT TM ve OLI algılayıcı özellikleri (Sarıyılmaz, 2017)

TM Bantları (µm)	OLI Bantları (µm)

Bant 1	30 m Mavi	0.441-0.514	30 m Kıyı/Aerosol	0.435-0.451
Bant 2	30 m Yeşil	0.519-0.601	30 m Mavi	0.452-0.512
Bant 3	30 m Kırmızı	0.631-0.692	30 m Yeşil	0.533-0.590
Bant 4	30 m YK	0.772-0.898	30 m Kırmızı	0.636-0.673
Bant 5	30 m KDK-1	1.547-1.749	30 m YK	0.851-0.879
Bant 6	120 m TK	10.31-12.36	30 m KDK-1	1.566-1.651
Bant 7	30 m YK-2	2.064-2.345	30 m KDK-2	2.107-2.294
Bant 8			15 m PAN	0.503-0.676
Bant 9			30 m Bulut	1.363-1.384
Bant 10			100 m TK-1	10.6-11.19
Bant 11			100 m TK-2	11.5-12.51

4. YÖNTEM

4.1. Sınıflandırma

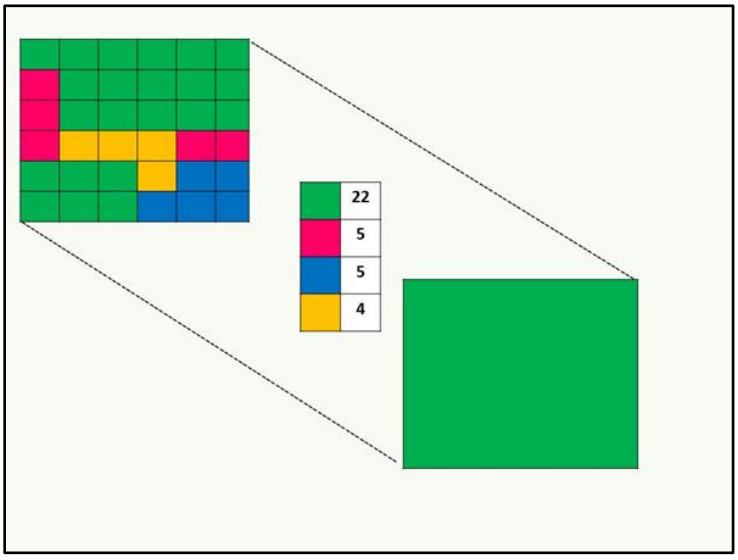
Uydu görüntülerinden arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarını elde etmek için piksel tabanlı ve nesne tabanlı gibi sınıflandırma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında CORINE birinci seviye sınıfları üretmek için piksel tabanlı sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Kontrolsüz ve kontrollü sınıflandırmanın uygun şekilde bir arada kullanıldığı hibrit sınıflandırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Kontrolsüz sınıflandırma işleminde ISODATA yöntemi, kontrollü sınıflandırma işleminde ise Maksimum olabilirlik algoritması kullanılmıştır. Kontrolsüz sınıflandırma işlemi sonucu oluşan spektral sınıflar kontrollü sınıflandırma işlemine girdi olarak kullanılabilir. Bu durumda spektral sınıflar kontrollü sınıflandırma işlemi için gerekli olan öncül tematik bilgi yerine geçmektedir (Sarıyılmaz, 2017). Kontrollü sınıflandırma sonucu elde edilen sınıflar bilgi sınıflarıdır (Sarıyılmaz, 2012). Sınıflandırma işlemi sonucunda CORINE sınıflandırma hiyerarşisinin birinci seviyesinin dört bilgi sınıfı elde edilmiştir. Bu sınıflar; orman ve yarı doğal alanlar, tarım alanı, su varlığı ve yapay yüzeylerdir. Orman ve yarı doğal alanlar, ormanları ve bitki örtüsü bulunan alanları kapsamaktadır. Tarım alanları, tarla ve mera alanlarını kapsamaktadır. Su alanı, göl ve iç suları kapsamaktadır. Yapay yüzeyler ise kentsel alanları, endüstriyel veya ticari birimleri kapsamaktadır.

Sınıflandırma işlemi tamamlandıktan sonra elde edilen bilgi sınıflarının doğruluğunu belirlemek için doğruluk analizi işlemi gerçekleştirilmiştir. Tematik doğruluğu ifade edebilmek için görüntülerin genel doğrulukları ve kappa istatistik değerleri hata matrisi yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre 2000 tarihli sınıflandırılmış görüntünün genel doğruluğu yaklaşık %96 ve kappa istatistik değeri 0.9286 olarak ve 2018 tarihli sınıflandırılmış görüntünün genel doğruluğu yaklaşık %95 ve kappa istatistik değeri 0.9053 olarak hesaplanmıştır.

4.2. Genelleştirme

Mekansal verilerin elde edilmesi ve işlenmesinden sonra elde edilen sonuçların amacına ve ölçeğine bağlı olarak nicelik ve nitelik hakkında kolay ve hızlı anlaşılır bilgi sağlamak esastır. Bu bilgilerin anlamlı hale getirilmesi, kurumlar veya karar vericiler tarafından kabul edilen standartlarla da uyumlu şekilde üretilmiş haritalar aracılığıyla olmaktadır (Sarıyılmaz vd., 2017, Uluğtekin vd., 2013). Genel anlamda genelleştirme karmaşıklığın giderilmesi, estetikliğin ve bütünlüğün korunması olarak tanımlanabilir.

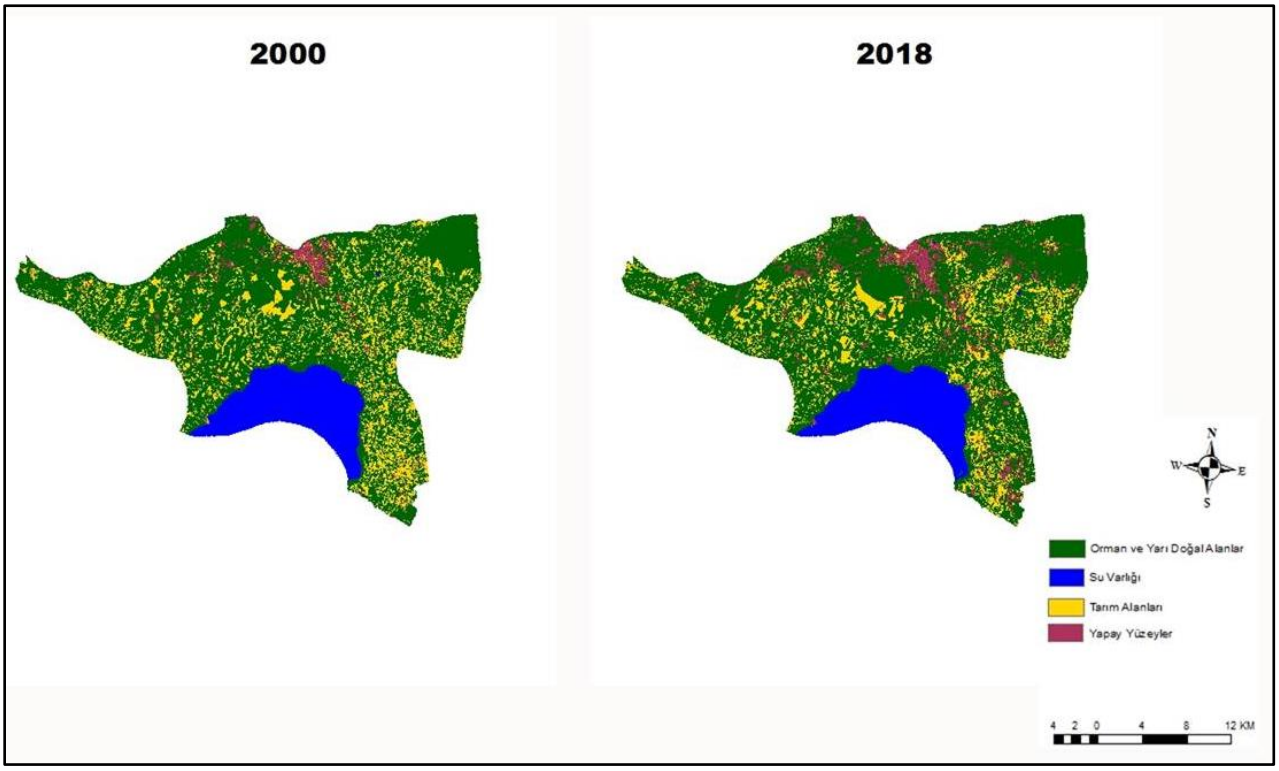
Bu çalışmada sınıflandırma sonucunda elde edilen görüntüler tematik piksel toplama işlemi ile kavramsal olarak genelleştirilmiştir. Bu işlem ile aynı zamanda görüntülere ait piksel boyutları en küçük haritalama birimi olan 25 ha olacak şekilde genelleştirilmiş olmuştur. Bir piksel 30 m mekansal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri için 0.09 ha temsil etmektedir. Bu durumda 25 ha 278 piksel ile ifade edilebilmektedir. Bu görüntüler için, en küçük haritalama birimi 16x17 piksele karşılık gelmektedir. Sınıflandırma işleminde elde edilen sonuçların genelleştirilmesi için tematik piksel toplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Tematik piksel toplama işlemi ile belirlenen piksel sayısı kadar alanda en baskın arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıfı belirlenerek yeni oluşan piksele atanmaktadır. Şekil 3'te tematik piksel toplama işleminin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3. Tematik piksel toplama işlemi

5. BULGULAR

Sınıflandırılmış görüntülere doğruluk analizi işlemi uygulanmıştır ve elde edilen sonuçların kabul edilebilir değerlerde olduğu görülmüştür. Sınıflandırma işlemi sonucunda elde edilen tematik haritalar Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Sınıflandırma sonuçları

Sınıflandırma işlemi ile çalışma alanının görüntüsünde CORINE sınıflandırma sisteminin birinci seviyesine ait 4 adet bilgi sınıfı belirlenmiştir. Bu sınıfların çalışma alanı içerisindeki alansal dağılımı Tablo 2'de verilmektedir. Buna göre, 2000 yılından 2018 yılına kadar geçen sürede, tarım alanları tematik sınıfı %19 oranından %16 oranına gerilemiş ve yapay yüzeyler tematik sınıfı %3 oranından %7 oranına ilerlemiştir.

Tablo 2. Arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının alansal dağılımı

Sınıf İsmi	2000	2018
Orman ve Yarı Doğal Alanlar	%65	%64
Tarım Alanları	%19	%16
Su Varlığı	%13	%13

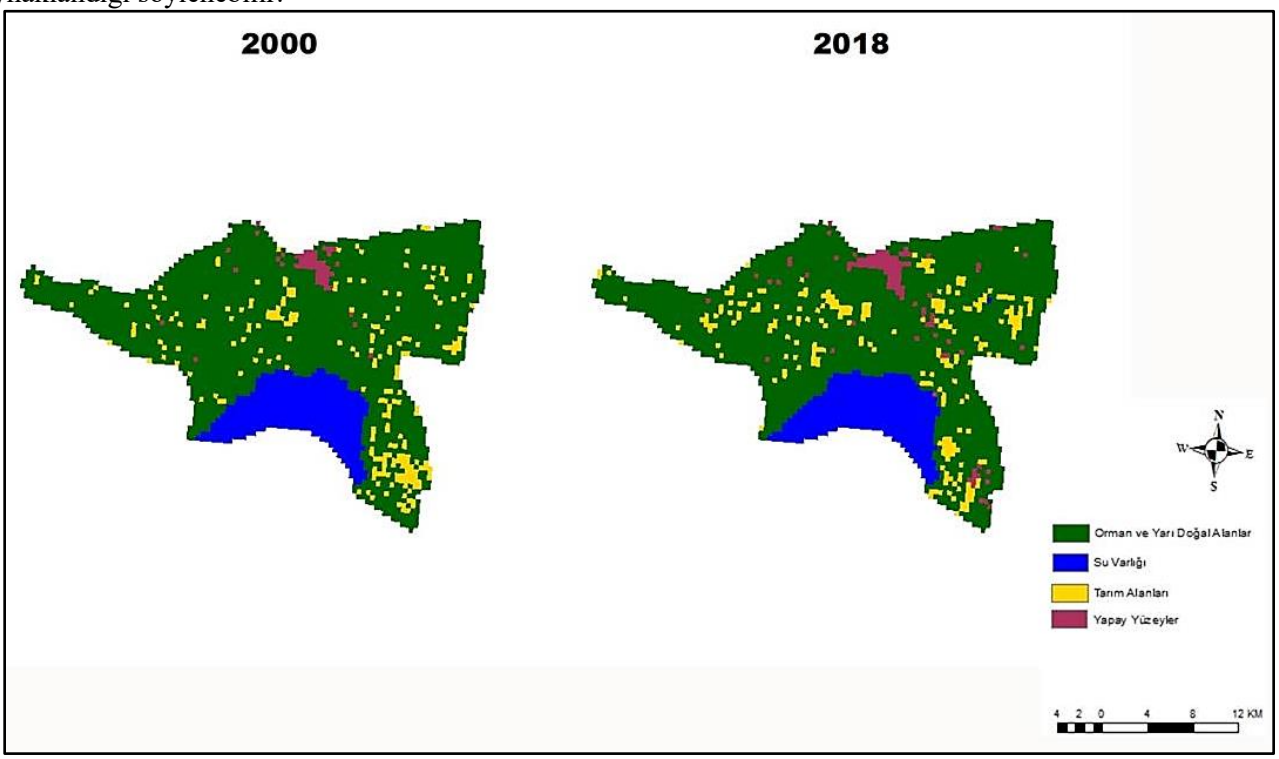
Yapay Yüzeyler	%3	%7
Toplam	%100	%100

Çalışmanın bir sonraki aşamasında 2000 ve 2018 tarihli CORINE veri tabanı verileri, sınıflandırılmış 2000 ve 2018 tarihli görüntüler ile karşılaştırılmıştır. Örtüşme oranları Tablo 3.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 3. Sınıflandırma sonucu CLC veriler ile karşılaştırma

Sınıf İsmi	Sınıflandırma				CORINE				Örtüşme Oranı (%)	
	2000		2018		2000		2018		2000	2018
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%		
Orman ve YDA	48865.15	60	48158	60	52740	65	45189	56	% 93	% 94
Tarım Alanları	14346.89	19	12179.56	15	8331	10	14474	18	% 173	% 119
Su Varlığı	9820.98	12	9627.66	12	12805	16	11283	14	% 115	% 115
Yapay Yüzeyler	2480.49	3	5548.23	7	3012	4	4421	6	% 133	%86
Toplam	75513.4	100	75513.4	100	75367	100	75367	100		

Hem görüntülerden hem de CORINE verilerinden çalışma alanının sınırlarının belirlenmesi işleminde aynı vektör veri dosyası kullanılmıştır. Ancak, Tablo 3 incelendiğinde toplam alanlarda yaklaşık 150 hektarlık bir fark olduğu görülmektedir. Bu durumun geometrik düzeltme aşamasındaki farklılıklardan kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 5. Genelleştirme sonuçları, 25 hektar

Çalışmanın takip eden aşamasında niceliksel olarak daha anlamlı bir karşılaştırma yapılabilmesi amacıyla sınıflandırma sonuçları, görüntüdeki bir piksel 25 hektarlık alanı kapsayacak şekilde genelleştirilmiştir. Genelleştirme işlemi sonucunda elde edilen tematik haritalar Şekil 5'te ve arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının görüntü içerisindeki dağılımı Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Genelleştirilmiş görüntülerin arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının alansal dağılımı

Sınıfl İsmi	**2000**	**2018**

Orman ve Yarı Doğal Alanlar	**% 77**	**% 76**
Tarım Alanları	**% 8**	**% 8**
Su Varlığı	**% 13**	**% 13**
Yapay Yüzeyler	**% 2**	**% 3**
Toplam	**%100**	**%100**

Tablo 5.'de genelleştirme işleminden sonra CORINE Arazi Örtüsünün veri tabanı birinci seviye sınıfları arasındaki alansal karşılaştırmanın istatistiksel sonuçlarını göstermektedir.

Tablo 5. Genelleştirilmiş görüntülerin arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının alansal dağılımı

Sınıf İsmi	Genelleştirme				CORINE				Örtüşme Oranı (%)	
	2000		2018		2000		2018		2000	2018
	ha	%	ha	%	ha	%	ha	%		
Orman ve YDA	584 33.87	77	570 62.96	76	5 2744	70	45 189	60	% 110	% 127
Tarım Alanları	567 9.36	8	599 7.6	8	8 331	11	14 474	19	% 73	% 42
Su Varlığı	986 5.44	13	969 4.08	13	1 1280	15	11 283	15	% 87	% 87
Yapay Yüzeyler	124 8.48	2	254 5.92	3	3 012	4	44 21	6	% 50	% 50
Toplam	752 27.1	100	753 00.5	100	7 5367	100	75 367	100		

6. SONUÇLAR

Bu uygulamada Balıkesir'in Bandırma ilçesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu çalışma alanının seçilmesinde turizm ve tarım faaliyetlerinin ilçe içerisinde yoğun şekilde gerçekleştirilmesinin yanında ilçenin deprem kuşağında yer alması da önemli ölçüde etkili olmuştur.

Bu çalışmada Bandırma ilçesinin arazi örtüsü ve arazi kullanımı haritalarının üretilmesi ve üretilen sonuçların CORINE veri tabanı ile uyumunun araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla 2000 ve 2018 tarihli LANDSAT görüntüleri kullanılmıştır. Öncelikle görüntüler piksel tabanlı olarak sınıflandırılmış ve ardından sınıflandırılmış görüntüler genelleştirilmiştir. Piksel tabanlı sınıflandırma işleminin uygulanması için öncelikle görüntüler kontrolsüz olarak sınıflandırılmış ve kontrolsüz sınıflandırma ile elde edilen spektral sınıflar kontrollü sınıflandırma işleminde öncül tematik veri olarak kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucunda görüntüde dört adet bilgi sınıfı belirlenmiştir. Bu sınıflar orman ve yarı doğal alanlar, tarım alanları, su varlığı ve yapay yüzeylerdir. Sınıflandırılmış görüntülerin doğruluk kontrolü gerçekleştirilmiş ve sonuçların kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür. Sınıflandırma sonuçlarına göre 2000 yılından 2018 yılına kadar geçen sürede, orman ve yarı doğal alanlar yaklaşık %1.5 oranında, tarım alanları da yaklaşık %15.8 oranında azalmıştır, yapay yüzeyler yaklaşık %133.3 oranında artmıştır ve su varlığı sınıfında değişim olmamıştır.

CORINE veri tabanına göre, 2000 yılında orman ve yarı doğal alanlar çalışma alanının yaklaşık %70'ini, tarım alanları yaklaşık %11 ini, su varlığı yaklaşık %15'ini ve yapay yüzeyler yaklaşık %4'ünü kaplamaktadır. 2018 yılında ise, orman ve yarı doğal alanlar çalışma alanının yaklaşık %60'ını, tarım alanları yaklaşık %19'unu, su varlığı yaklaşık %15'ini ve yapay yüzeyler yaklaşık %6'sını kaplamaktadır. Buna göre, 2000 yılından 2018 yılına kadar geçen sürede orman ve yarı doğal alanlar yaklaşık %14.29

oranında azalmış, tarım alanları yaklaşık %72.73 oranında artmış, yapay yüzeyler yaklaşık %50 oranında artmıştır ve su varlığı sınıfında değişim olmamıştır.

Sınıflandırma işleminin ardından sınıflandırılmış görüntüler CORINE verileri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, 2000 tarihli görüntü sınıfları CORINE verileri ile karşılaştırıldığında orman ve yarı doğal alanlar sınıfı için yaklaşık %93, tarım alanları sınıfı için yaklaşık %173, su varlığı sınıfı için yaklaşık %115 ve yapay yüzeyler sınıfı için yaklaşık %133 oranında örtüşme belirlenmiştir. 2018 tarihli görüntü sınıfları CORINE verileri ile karşılaştırıldığında orman ve yarı doğal alanlar sınıfı için yaklaşık %94, tarım alanları sınıfı için yaklaşık %119, su varlığı sınıfı için yaklaşık %115 ve yapay yüzeyler sınıfı için yaklaşık %86 oranında örtüşme belirlenmiştir.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında sınıflandırma sonuçları CORINE veri tabanının minimum haritalama birimiyle uyumlu olması amacıyla 25 hektar en küçük piksel boyutuna genelleştirilmiştir. Bunun amaçla tematik piksel toplama işlemi uygulanmıştır. Genelleştirme sonuçlarına göre, 2000 yılında orman ve yarı doğal alanlar çalışma alanının yaklaşık %77'sini, tarım alanları yaklaşık %8'ini, su varlığı yaklaşık %13'ünü ve yapay yüzeyler de yaklaşık %2'sini oluşturmaktadır. 2018 yılında ise orman ve yarı doğal alanlar çalışma alanının yaklaşık %76'sını, tarım alanları yaklaşık %8'ini, su varlığı yaklaşık %13'ünü ve yapay yüzeyler yaklaşık %3'ünü oluşturmaktadır.

Çalışmanın son aşamasında genelleştirilmiş görüntülerden elde edilen alanlar, CORINE veri tabanı ile karşılaştırılmıştır. Buna göre, 2000 tarihli genelleştirilmiş görüntü sınıfları CORINE verileri ile karşılaştırıldığında orman ve yarı doğal alanlar sınıfı için yaklaşık %110 oranında, tarım alanları sınıfı için yaklaşık %73 oranında, su varlığı sınıfı için yaklaşık %87 oranında ve yapay yüzeyler sınıfı için yaklaşık %50 oranında bir örtüşme belirlenmiştir. 2018 tarihli genelleştirilmiş görüntü sınıfları CORINE verileri ile karşılaştırıldığında orman ve yarı doğal alanlar sınıfı için yaklaşık %127 oranında, tarım alanları sınıfı için yaklaşık %42 oranında, su varlığı sınıfı için yaklaşık %87 oranında ve yapay yüzeyler sınıfı için yaklaşık %50 oranında örtüşme belirlenmiştir.

Çalışma sonuçları genel olarak incelendiğinde, sınıflandırılmış ve genelleştirilmiş görüntüler ile CORINE veri tabanı arasında yapılan karşılaştırmalar sonucunda uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Bazı sınıflarda uyumun seviyesinin düşük olmasında çalışma alanının küçük bir bölge olarak seçilmesi, 2018 tarihli CORINE verilerinin üretilmesinde kullanılan SENTINEL görüntüleri ile çalışmada kullanılan LANDSAT görüntüleri arasındaki mekânsal çözünürlük farkı, genelleştirme işleminin veri kayıplarına yol açması ve geometrik olmayan ilçe sınırlarının genelleştirme mekanizmasını olumsuz etkilemesi söylenebilir. Ayrıca, sınıflandırma işleminin arazi çalışmaları ile desteklenmesinin örtüşme oranlarının artmasına katkı sağlayacağı da belirtilmelidir.

KAYNAKLAR

Akbulak, C. (2010). *Analitik hiyerarşi süreci ve coğrafi bilgi sistemleri ile yukarı kara Menderes Havzası'nın arazi kullanımı uygunluk analizi,* Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi.

Arslan, F. ve Üzülmez, M. (2019). *Bandırma'da rüzgar enerji santralleri için potansiyel alanların belirlenmesi*, 2. Uluslararası Bandırma ve Çevresi Sempozyumu-UBS'19.

Ateşoğlu, A. (2006). *Havza çalışmalarında kullanılan CORINE 2006 arazi sınıflandırma verilerinin doğruluğunun araştırılması*, Araştırma Makalesi, Journal Of The Faculty Of Forestry Istanbul Unıversıty.

Aydoğdu, M., Özdemir, Ş., Dedeoğlu, F., Mermer, A. (2012). *Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama teknikleri kullanılarak Ankara ili Yenimahalle ilçesindeki tarım alanlarının amaç dışı kullanımının belirlenmesi*, Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi.

Başayiğit, L. (2003). *CORINE arazi kullanımı sınıflandırma sistemine göre arazi kullanım haritasının hazırlanması: Isparta Örneği*, Tarım Bilimleri Dergisi 2004.

Bayar, R. ve Karabacak, K. (2017). *Ankara ili arazi örtüsü değişimi (2000-2012)*, Ankara Üniversitesi, Coğrafi Bilimler Dergisi.

Canpolat, F.A. ve Dağlı, D. (2020). *Elazığ İli'nde arazi kullanımı (2006-2018) ve simülasyonu (2030),* International Journal of Geography and Geography Education.

Dengiz, O. ve Akgül, S. (2005). *Gölbaşı özel çevre koruma alanı ve yakın çevresinin CORINE modeli ile erozyon risk değerlendirmesi,* Turkish Journal of Agriculture and Forestry 2005.

Doğrama, E. (2020). *Balıkesir Ovası arazilerin güncel arazi kullanım durumu ve sürdürülebilir yönetimi*, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Erol, E. ve Çanga, M.R. (2003). *Coğrafi bilgi sistemi tekniği kullanılarak erozyon tehlikesinin değerlendirilmesi,* Tarım Bilimleri Dergisi 2004.

Gençer, M., Başayiğit, L. ve Akgül, M. (2014). *Eğirdir Gölü koruma zonları CORINE arazi kullanım sınıflaması*, Tarım Bilimleri Dergisi.

Güre, M., Özel, M.E. ve Özcan, H. (2009). *CORINE arazi kullanımı sınıflandırma sistemine göre Çanakkale ili*, Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi 2009, Araştırma Makalesi.

Kanar, E. ve Dengiz, O. (2015). *Madendere Havzasında potansiyel erozyon risk durumunun iki farklı parametrik model kullanarak belirlenmesi ve risk haritalarının oluşturulması*, Türküye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, Araştırma Makalesi.

Keleş, B. ve Durduran, S.S. (2019). *Osmaniye ilinin arazi örtüsü ve kullanımındaki zamansal değişimin uzaktan algılama teknikleri ile araştırılması*, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Araştırma Makalesi.

Kılıç, T., Koca, Y.K. ve Doran, İ. (2007). *Bağıvar'da arazi kullanımının CORINE programına göre değerlendirilmesi*, Marmara Coğrafya Dergisi Sayı:16.

Sarıyılmaz, F.B. (2012). *Zamansal seriler ile değişim analizi: İstanbul Sarıyer örneği*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sarıyılmaz, F.B. (2017*). Corine sınıflandırmasının Sazlıdere Havzası ölçeğinde tematik doğruluk analizi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Sarıyılmaz, F.B., Musaoğlu, N. ve Uluğtekin, N. (2017). *Producing information for CORINE database by usıng classification method: a case study of Sazlıdere Basın, İstanbul*, ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-4/W4, 2017 4th International GeoAdvances Workshop, 14–15 October 2017, Safranbolu, Karabuk, Turkey.

Sönmez, N.K., Selim, S., Türkkan, H.R. ve Onur, I. (2016). *Gazipaşa- Alanya bölgesinde 2004-2016 yılları arasındaki Muz Ekili arazi kullanım değişimlerinin UA ve CBS ile Belirlenmesi*, 6. UZAKTAN ALGILAMA-CBS SEMPOZYUMU (UZAL-CBS 2016).

Uluğtekin, N., Doğru, A. Ö., Bildirici, İ. Ö. (2013). *CBS haritalarının tasarımı,* TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara, Türkiye: Kasım 11-13.

Url-1<http://ec.europa.eu/eurostat/documents/205002/208012/LUCAS2012_C1-InstructionsRevised_20130110b.pdf/10f750e5-5ea0-4084-a0e7-2ca36c8f400c

Url-2 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Bal%C4%B1kesir

Url-3 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Band%C4%B1rma

Url-4 <https://www.webcitation.org/6Btzu7khG

Url-5 <https://corine.tarimorman.gov.tr/corineportal/amac.html

Url-6 <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover

Yıldırımer, S. (2013). *Çoruh Nehri üzerinde tamamlanan, inşası devam eden ve planlanan büyük barajların neden olduğu ve olacağı arazi kullanım değişimlerinin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Mühendisliği Anabilim Dalı.

Yılmaz, S. Y., Gülgen, F., Güngör, R. ve Kadı, F. (2018). *Uzaktan algılama teknikleri ile arazi kullanım değişiminin incelenmesi: Köprübaşı İlçesi örneği*, Geomatik Dergisi, Araştırma Makalesi.

Yılmaz, O. ve Erdem, Ü. (2011). *Gediz Deltası'nın uzaktan algılama teknikleri uygulanarak alan kullanım karaları üzerine araştırmalar*, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi.

Bir Ramsar Sulak Alanı Olan Seyfe Gölü'nün Zamansal Değişiminin Uzaktan Algılama Yöntemleri ile İncelenmesi

Zehra GÜNGÖR[1,a], Yusuf Enes AYDEMİR[1,b], Fulya Başak SARIYILMAZ*[1,c]
[1]Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

Öz

Kırşehir ilinin 35 km doğusunda bulunan ve denizden 1080 m yükseklikte yer alan Seyfe Gölü çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Seyfe Gölü; su kuşlarının beslenme, üreme ve konaklama alanı olarak sadece Türkiye'nin değil, dünyanın da önemli Ramsar sulak alanlarındandır. Su kaynaklarının plansız kullanımı sonucu oluşabilecek tehditlerin önüne geçebilmek için sulak alanların korunması ve bilinçli bir şekilde kullanılması için bu bölgelerde meydana gelen değişimlerin incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Seyfe Gölü'nün zamansal ve mevsimsel değişiminin su ve tuzluluk oranı üzerindeki etkisinin incelemesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, 1987, 1997, 2008 ve 2018 tarihli LANDSAT görüntüleri ile zamansal değişimin belirlenmesine yönelik olarak çalışılmıştır. Buna ek olarak 2018 yılı için nisan, haziran, eylül ve aralık ayı görüntüleri de mevsimsel durumun değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Uydu görüntüleri kontrolsüz olarak sınıflandırılmış ve çalışma alanında üç adet sınıf belirlenmiştir. Bu sınıflar, su varlığı, tuz ve diğer alanlar olarak adlandırılmıştır. Ayrıca uydu görüntülerine su varlığı tematik sınıfının belirlenmesine yönelik olarak geliştirilmiş MNDWI ve tuz tematik sınıfının belirlenmesine yönelik olarak geliştirilmiş NDSI bant oranlama yöntemleri uygulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Bant Oranlama, Kontrolsüz Sınıflandırma, Ramsar Sulak Alanları Seyfe Gölü

1. Giriş

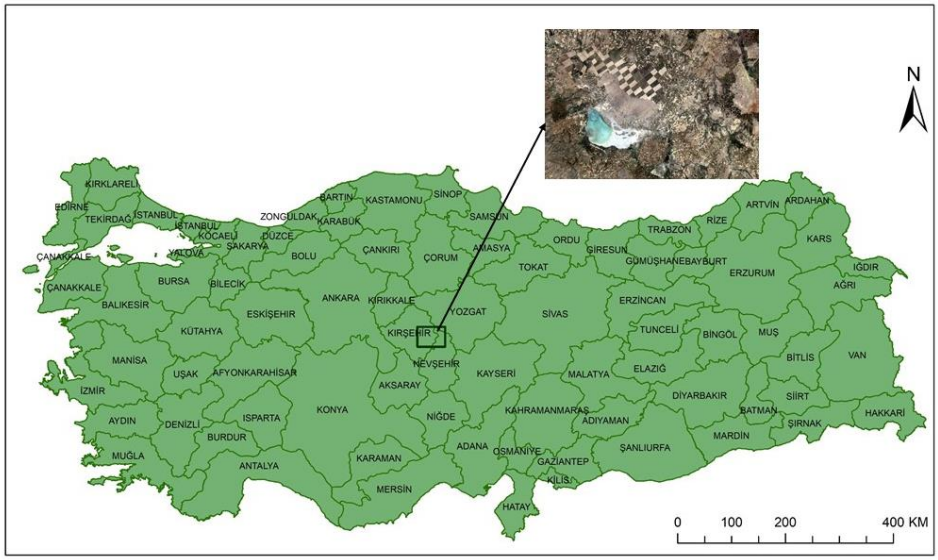
Su, insan hayatının her döneminde önemli bir yere sahiptir. Gerek insanların gerekse diğer canlıların yaşamını devam ettirebilmesi için suya ihtiyacı vardır. Ülkemizdeki tatlı ve tuzlu su kaynakları her geçen gün azalmaktadır. Bu azalma birden çok sebebe bağlı olarak gerçekleşir. Bu çalışmada hayatın devamlılığını sağlamadaki mutlak koşullardan biri olan suyu temin etmekte olduğumuz göllerden olan Seyfe Gölü çalışma alanı olarak seçilmiştir. Türkiye, Ramsar Sözleşmesi'ne üye devletler arasındadır. Ramsar Sözleşmesi olarak adlandırılan Sulak Alanlar Sözleşmesi, sulak alanların ve kaynaklarının korunması ve akıllıca kullanımı için ulusal eylem ve uluslararası iş birliği için çerçeve sağlar (Dervisoğlu, 2018). Seyfe Gölü, Türkiye'de bulunan 14 Ramsar sulak alanından bir tanesidir.

Küresel ısınma, kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışı doğal su kaynaklarına olan ihtiyacı her geçen gün artırmaktadır. Doğal su kaynaklarından biri olan göller, bulundukları çevrenin nem oranını yükselterek başta yağış ve sıcaklık olmak üzere yerel iklim elemanları üzerinde olumlu etki yaparlar. Bu nedenle göllerin zamana bağlı su değişimlerinin uzaktan algılama teknikleri ile incelenmesi, izlenmesi ve gerektiğinde tedbir alınması önem arz etmektedir.

Literatürde göllerin yönetimini ve Seyfe Gölü'nü konu alan çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Çeşmeci, 2010; Kıymaz, 2010; Yazgan, 2012; Başıbüyük vd., 2020; Reis ve Yılmaz, t.y.). Diğer yandan, güncel arazi örtüsü ve arazi kullanımı durumunu ortaya koymak ve değişim analizi yapmak amacıyla uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen çeşitli çalışmalar da mevcuttur (Guo vd., 2008; Özkan Yılmaz, 2008; Kazancı vd., 2009; Wilson and Weng, 2010; Ateş vd., 2011; Ponius Jr. Vd., 2011; Yeniyurt vd., 2011; Sarıyılmaz, 2012; Çelik 2013; Karabulut, 2015; Sarıyılmaz vd., 2015; Sarıyılmaz, 2017; Dervişoğlu, 2018; Kardaş 2018; Bozduman, 2019; Aksoy vd., 2019; Çağlayan, 2020; Jamal ve Ahmad, 2020; Mutlu vd., 2020; Singh vd., 2020; Tadese, vd., 2020). Bu çalışmada da, Türkiye'deki Ramsar alanlarından biri olan Seyfe Gölü ve çevresinin 1987 yılından 2018 yılına kadar geçen sürede arazi örtüsü ve arazi kullanımında olan değişim incelenmiştir. Ayrıca, mevsimsel değişimi incelemek için 2018 yılı, nisan, haziran, eylül ve aralık ayı görüntüleri kullanılmıştır. Bu amaçla uydu görüntüleri öncelikle kontrolsüz olarak sınıflandırılmıştır. Buna ek olarak, çalışma alanı içerisindeki su ve tuz sınıflarının belirlenmesi için uydu görüntülerine bant oranlama teknikleri uygulanmış ve bant oranlama sonuçları sınıflandırma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Seyfe Gölü Türkiye'nin sulak alanlarından biri olup 1994 yılında Ramsar Alanı olarak kabul edilmiştir. Seyfe Gölü, 39.183971° N (kuzey) - 34.408696° E (doğu) enlem-boylamlarında yer alan, Kırşehir'in 35 kilometre doğusunda bulunan sığ tektonik bir göl olup yaklaşık olarak 15 km² alana sahiptir. Denizden yaklaşık 1080 metre yükseklikte olan gölün bulunduğu Seyfe Ovası'nın tamamı 152200 hektardır. Seyfe Ovası'nın sınırları içerisinde göl alanı, geçici bataklık bölgesi ve tarım arazileri yer almaktadır. Gölün uzunluğu 10 km, genişliği 5 km, çevresi ise 26 km'dir (URL-1). Şekil 1, Seyfe Gölü'nün konumu göstermektedir.



Şekil 1. Seyfe Gölü'nün coğrafi konumu

Yaz mevsiminde yörenin yağış almayışı, derelerin kuruması, pınarların sularının tamamına yakınının sulamada kullanılması ve aşırı buharlaşma nedeniyle gölün su seviyesinde düşüş meydana gelmektedir. Yazın suyu iyice azalan Seyfe Gölü'nün kış aylarında bol yağış alması nedeniyle kabardığı ve etrafının bataklığa dönüştüğü görülür. Kapalı havza olduğu için suyu durdukça tuzlanır. (Url-1).

3. Veri

Ramsar sulak alanlarından Seyfe Gölü'nün zamansal değişiminin incelenmesinde LANDSAT görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri radyometrik ve geometrik düzeltmeleri yapılmış olarak, UTM WGS 84 koordinat sistemi ve datumunda, ücretsiz olarak temin edilmiştir (Url-2). Çalışmada zamansal ve mevsimsel değişim incelemesi amaçlanmıştır. Bu sebeple temin edilen görüntülerin tarihleri çalışma amacı göz önüne alınarak belirlenmiştir. Toplam 7 adet görüntü ile çalışılmış olup bunların tarih dağılımı Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Landsat uydu görüntülerinin tarih dağılımı.

2018 (LANDSAT 8)	2018 (LANDSAT 8)	2018 (LANDSAT 8)	2018 (LANDSAT 8)	2008 (LANDSAT 5)	1997 (LANDSAT 5)	1987 (LANDSAT 5)
23.12.2019 (Kış)	02.09.2019 (Sonbahar)	14.06.2019 (Yaz)	11.04.2019 (İlkbahar)	26.06.2008	20.06.1997	25.06.1987

Zamansal değişim incelemesi 1987, 1997, 2008 ve 2018 yılları haziran ayı görüntüleriyle; mevsimsel değişim incelemesi ise 2018 yılına ait nisan, haziran, eylül ve aralık ayı görüntüleri ile gerçekleştirilmiştir.

4. Yöntem

4.1. Kontrolsüz Sınıflandırma ve Doğruluk Analizi

Sınıflandırma bir karar verme yöntemi olarak kullanılır. Sınıflandırmanın temel amacı; özellik uzayında aynı özellikleri gösteren nesnelerin aynı grup altında toplanarak görüntüler üzerinden tematik harita üretme işlemidir. Uzaktan algılamada kontrollü ve kontrolsüz olmak üzere iki yaklaşım yöntemi vardır (Kalkan ve Maktav, 2010; Doğan, 2008).

Piksellerden oluşan optik görüntüde her piksel bir yansıtım değerine sahiptir. Kontrolsüz sınıflandırma işleminde görüntü piksel yansıtım değerlerinden yararlanılarak belirlenen sınıf sayısına göre spektral kümelere ayrılır. Piksellerin atandığı kümelerin her biri arazi üzerinde belirli bir tematik sınıfa karşılık gelmektedir (Çetin ve Musaoğlu, 2008; Lillesand vd., 2004). Yüksek mekansal çözünürlüklü görüntüler ya da arazi çalışmaları ile elde edilen yersel veriler gibi kaynaklar kullanılarak, oluşturulan sınıfların arazi üzerinde temsil ettiği tematik sınıflar bu kümeleme işleminin sonrasında belirlenir. Kontrolsüz sınıflandırma işlemi sonucunda oluşan sınıflar spektral sınıflardır.

Bu çalışmada kontrolsüz sınıflandırma yöntemi ve doğruluk analizi gerçekleştirilmiştir. Kontrolsüz sınıflandırmada ISODATA algoritması kullanılmıştır. Kontrolsüz sınıflandırma işleminin amacı çalışma bölgesi için spektral olarak ayrılabilir sınıfları belirlemektir. Sınıflandırma sonucunda 3 adet sınıf elde edilmiştir. Bu sınıflar, su varlığı, tuz ve diğer alanlar olarak adlandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi ile üretilen tematik haritanın güvenirliğinin belirlenmesi için, her bir sınıfın doğruluğunun analiz edilmesi gereklidir. Tematik haritaların doğruluk değerlendirmesi yapılırken kullanılan en yaygın yöntem hata matrislerinin analiz edilmesidir (Kumar, 2012; Congalton ve Green, 2008).

Hata matrisi, satır ve sütunlardan oluşmaktadır ve her bir sınıf için, seçilen örnek sayısı ve yer doğruluklu referans verideki karşılığını gösterir. Matrisin sütunları referans veriyi yani gerçek arazi örtüsü), satırları ise sınıflandırma sonucunda tanımlanmış arazi örtüsü ve kullanımının sınıf karşılığını ifade eder. Matrisin köşe elemanları sınıflar için sınıflandırma ve referans verinin uyuştuğu örnek sayısını vermektedir. Sınıflandırma sonuçlarının tematik doğruluğunun ifade edilebilmesi için hata matrisi kullanılarak genel doğruluk ve kappa istatistik değeri hesaplanmıştır.

Doğruluk değerlendirmesi sırasında rastgele nokta sayısının belirlenmesi için Binomial örnekleme yöntemine ait;

$$N=(Z^2.p.q)/E^2 \quad (1)$$

eşitliği kullanılmıştır (Fitzpatrick – Lins, 1981; Van Genderen ve Lock, 1977).

Denklem 1'de gösterilen ifadeler;

N = Örnek sayısı
p = Beklenen doğruluk
q = 100 – p
E = Hesaba katılabilir hata
Z = % 95 güven aralığı için standart normal sapma (1.96)

olarak tanımlanır.

4.2. Bant Oranlama Yöntemleri

Uzaktan Algılama görüntülerinde farklı cisimlerin çeşitli sebeplerle benzer yansıtım özellikleri göstermesinden kaynaklanan karışık piksel problemini çözmek için birçok bilimsel çalışmada kullanılan yöntemlerden biri de aritmetik bant işlemleridir (Bektaş Balçık, 2011). Bu işlemler tek veya farklı kaynaklardan gelen görüntü bantlarının, uygun matematiksel yöntemlerle yeni bir özellik uzayına dönüştürülmesi işlemidir. Bant oranlama yöntemi de aritmetik bant işlemleri içerisindeki yaklaşımlardan biridir. Bu yöntemde spektral yansıtım eğrisinin eğilimlerindeki değişkenlik vurgulanır (Sunar ve Özkan 2011b).

Bu çalışmada Seyfe Gölü'nün zamansal ve mevsimsel değişimlerin belirlenebilmesi için farklı tematik sınıflara yönelik geliştirilmiş MNDWI ve NDSI bant oranlama yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar kontrolsüz sınıflandırma sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

4.2.1. MNDWI

Bu çalışmada su alanlarının belirlenmesi için Modifiye Edilmiş Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi (MNDWI) kullanılmıştır. Yöntemin eşitliği denklem 2 'de verilmiştir (Dervişoğlu, 2018);

MNDWI = (Yeşil – Kısa Dalga Kızıl Ötesi 1) / (Yeşil + Kısa Dalga Kızıl Ötesi 1) (2)

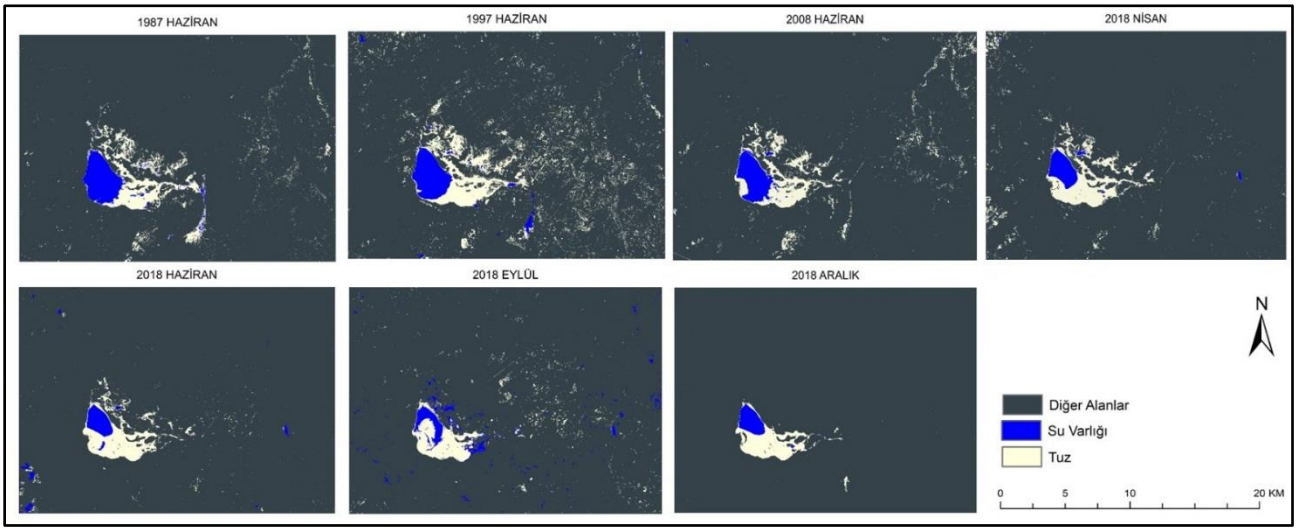
4.2.1. NDSI

Normalize Edilmiş Tuzluluk İndeksi (NDSI), tuzlu alanları ortaya çıkarmak amacıyla geliştirilmiştir. Yöntemin eşitliği denklem 3 'te verilmiştir (Dervişoğlu, 2018).

NDSI = (Kırmızı – Yakın Kızıl Ötesi) / (Kırmızı + Yakın Kızıl Ötesi) (3)

5. Bulgular

Bu çalışmada görüntülerin sınıflandırılması için bir kontrolsüz sınıflandırma algoritması olan ISODATA yöntemi kullanılmıştır. Kontrolsüz sınıflandırma ile görüntüdeki piksel yansıtım değerleri spektral gruplara ayrılmış ve daha sonra yüksek mekânsal çözünürlüklü görüntülerden kontrol edilerek spektral grupların karşılık geldikleri tematik sınıflar belirlenmiştir. Görüntüler kontrolsüz sınıflandırma ile su varlığı, tuz ve diğer alanlar olmak üzere 3 sınıfa ayrılmış ve zamana bağlı olarak su varlığı ve tuz tematik sınıfında meydana gelen değişim ortaya çıkarılmıştır. Kontrolsüz sınıflandırma sonucu oluşan tematik haritalar Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Sınıflandırma sonuçları

Tablo 2'de 1987, 1997, 2008, Nisan 2018, Haziran 2018, Eylül 2018 ve Aralık 2018 tarihli görüntülerde sınıfların kapladıkları alanlar yüzde dağılım olarak ifade edilmiştir.

Tablo 2. Arazi kullanım sınıflarının dağılımı

Sınıf İsmi	1987	1997	2008	2018 Nisan	2018 Haziran	2018 Eylül	2018 Aralık
Su Varlığı	%2.16	%2.13	%1.69	%1.09	%1.02	%1.58	%0.79
Tuz	%4.24	%7.03	%4.26	%4.02	%2.98	%2.96	%2.20
Diğer Alanlar	%93.60	%90.84	%94.05	%94.89	%96.00	%95.46	%97.01
Toplam	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100

Su varlığı tematik sınıfının kapladığı alanların yıllara göre değişimi Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde 1987 yılından 2018 yılına kadar geçen sürede su ile kaplı alanların yaklaşık 4100 hektardan yaklaşık 1900 hektara gerilediği belirlenmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen bölgenin tamamı için su ile kaplı alanların yaklaşık olarak %2'den %1'e gerilediği hesaplanmıştır.

Tablo 3. Su varlığı tematik sınıfının kapladığı alanların yıllara göre değişimi

Tarih	Sınıflandırma Sonuçları – Su Varlığı Tematik Sınıfı	
	Ha	**%**
1987	4151.88	2.16
1997	4077.90	2.13
2008	3250.89	1.69
2018	1952.37	1.02

Su varlığı tematik sınıfının kapladığı alanların mevsimsel değişimi Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde en büyük alanın yaklaşık 3000 hektar ile eylül ayında ve en küçük alanın yaklaşık 1500 hektar ile aralık ayında olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen bölgenin tamamı için su varlığı tematik sınıfı nisan ayından aralık ayına kadar geçen sürede en fazla %1.58 ve en az %0.79 oranında bir alan kaplamıştır.

Tablo 4. Su varlığı tematik sınıfının kapladığı alanların mevsimsel değişimi

Tarih	Sınıflandırma Sonuçları – Su Varlığı Tematik Sınıfı	
	Ha	**%**
Nisan 2018	2099.16	1.09
Haziran 2018	1952.37	1.02

Eylül 2018	3033.09	1.58
Aralık 2018	1518.57	0.79

Tuz tematik sınıfının kapladığı alanların yıllara göre değişimi Tablo 5'te verilmiştir. Tablo 5 incelendiğinde en büyük alanın yaklaşık 13500 hektar ile 1997 yılı için hesaplandığı ve en küçük alanın yaklaşık 5800 hektar ile 2018 yılı için hesaplandığı anlaşılmaktadır. Çalışma alanı olarak belirlenen bölgenin tamamı için yaklaşık %7 oranıyla en büyük alan 1997 tarihli görüntüde ve yaklaşık %3 oranıyla en küçük alan 2018 tarihli görüntüde hesaplanmıştır.

Tablo 5. Tuz tematik sınıfının kapladığı alanların yıllara göre değişimi

Tarih	**Sınıflandırma Sonuçları – Tuz Tematik Sınıfı**	
	Ha	**%**
1987	8139.15	4.24
1997	13495.90	7.03
2008	8168.58	4.26
2018	5735.25	2.98

Tuz tematik sınıfının kapladığı alanların mevsimsel değişimi Tablo 6'da verilmiştir. Tablo 6 incelendiğinde en büyük alanın yaklaşık 7700 hektar ile nisan ayı için hesaplandığı görülmektedir. Haziran ve eylül aylarında tuz ile kaplı alanlar yaklaşık 5700 hektar olarak hesaplanmıştır. Ancak aralık ayında bu alan yaklaşık 4200 hektara düşmüştür. Çalışma alanı olarak belirlenen bölgenin tamamı için yaklaşık %4 oranıyla en büyük alan nisan ayı görüntüsünde, en küçük alan yaklaşık %2 oranıyla aralık ayı görüntüsünde hesaplanmıştır.

Tablo 6. Tuz tematik sınıfının kapladığı alanların mevsimsel değişimi

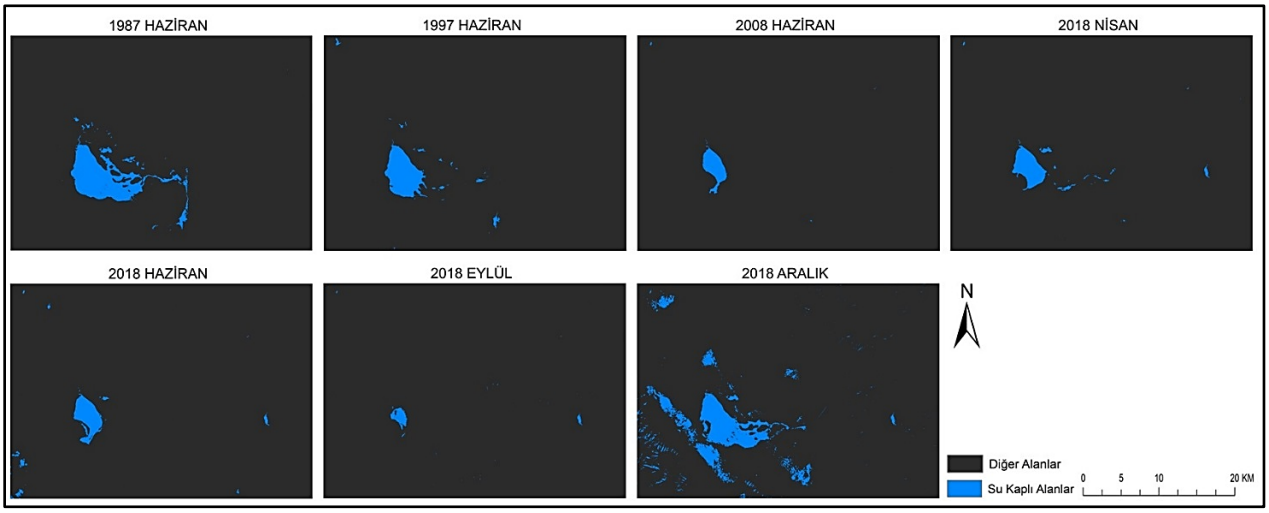
Tarih	**Sınıflandırma Sonuçları – Tuz Tematik Sınıfı**	
	Ha	**%**
Nisan 2018	7716.51	4.02
Haziran 2018	5735.25	2.98
Eylül 2018	5675.49	2.96
Aralık 2018	4213.71	2.20

Çalışmada, her bir görüntü için kappa istatistik katsayısı ve genel doğruluk, oluşturulan hata matrisi ile hesaplanmış ve bu işlemin gerçekleştirilmesinde kullanılan rastgele nokta sayısı binomial örnekleme yöntemi ile belirlenmiştir. Bu şekilde hesaplanan toplam rastgele nokta sayısı 323'dür. Bu sayı sınıfların görüntü üzerinde kapladıkları alanlar oranında dağıtılmıştır. Ancak, en düşük rastgele nokta sayısı 30 olarak kabul edilmiş ve bu değerin altında kalan değerler yükseltilmiştir. Doğruluk analizi sonuçlarının tüm görüntüler için kabul edilebilir değerlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Sınıflandırılmış görüntülere yapılan doğruluk analizi ile elde edilen kappa istatistik katsayısı ve genel doğruluk değerleri Tablo 7'de gösterilmiştir.

Tablo 7. Doğruluk analizi sonuçları

Tarih	**Kappa İstatistik Değeri**	**Genel Doğruluk (%)**
Haziran 1987	0.9243	95.88
Haziran 1997	0.8898	92.94
Haziran 2008	0.8738	92.01
Nisan 2018	0.8402	92.10
Haziran 2018	0.8585	92.56
Eylül 2018	0.9160	96.47
Aralık 2018	0.8788	93.00

Sınıflandırma işleminin ardından su varlığı ve tuz tematik sınıflarının daha kısa sürede belirlenebilirliğinin test edilmesi amacıyla bant oranlama yöntemlerinin uygulanmasına geçilmiştir. Bu amaçla su varlığı tematik sınıfı için MNDWI ve tuz tematik sınıfı için NDSI bant oranlama yöntemleri kullanılarak tematik haritalar oluşturulmuştur. Şekil 3'te MNDWI haritaları ve Tablo 8'de bu bant oranlama yöntemine göre su varlığı tematik sınıfının kapladığı alanlar, Şekil 4'te NDSI haritaları ve Tablo 9'da bu bant oranlama yöntemine göre tuz tematik sınıfının kapladığı alanlar verilmiştir. Her iki bant oranlama yöntemi için de, uygulama ardından elde edilen sonuç görüntüsünde pozitif piksel değerlerinin ilgili tematik sınıfı temsil ettiği kabul edilmiş ve alanlar bu kabule göre hesaplanmıştır.

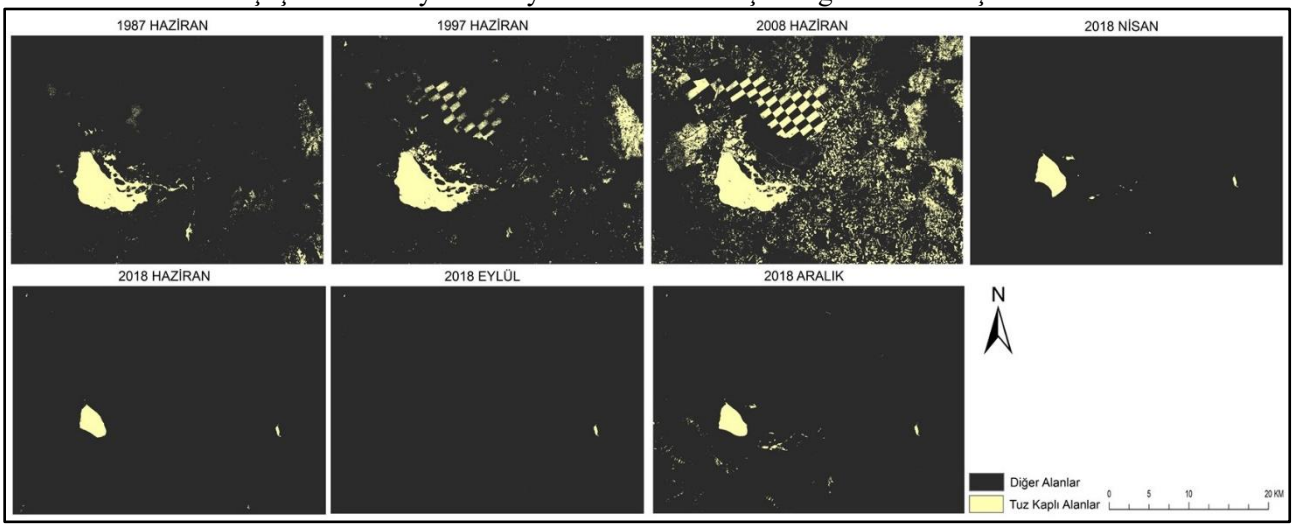


Şekil 3. MNDWI haritaları

Tablo 8. MNDWI sonuçları

Tarih	MNDWI (Ha)	
	Ha	%
Haziran 1987	7431.48	3.87
Haziran 1997	4160.16	2.17
Haziran 2008	1602.72	0.84
Nisan 2018	2717.82	1.42
Haziran 2018	2640.87	1.38
Eylül 2018	672.39	0.35
Aralık 2018	10552.95	5.50

Şekil 3 ve Tablo 8 incelendiğinde 1987 yılından 2008 yılına kadar geçen sürede su varlığı tematik sınıfında azalma olduğu görülmektedir. 2018 Nisan ve haziran aylarında bir miktar artış gözlenmekle beraber değerler birbirine oldukça yakındır. Görüntülere ve tablodaki değerlere göre eylül ayında su miktarında keskin bir düşüş ve aralık ayında da yine keskin bir artış olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4. NDSI haritaları

Tablo 9. NDSI sonuçları

Tarih	Alan	
	Ha	**%**
Haziran 1987	8319.24	4.34
Haziran 1997	12682.98	6.61

Haziran 2008	34743.78	18.11
Nisan 2018	2203.92	1.15
Haziran 2018	1559.16	0.81
Eylül 2018	71.37	0.04
Aralık 2018	2160.18	1.13

Şekil 4 ve Tablo 9 incelendiğinde; 1987 yılından 2008 yılına kadar geçen sürede tuz tematik sınıfının kapladığı alanların arttığı ve 2018 yılında tekrar azaldığı görülmüştür. 2018 yılı mevsimsel değişimi değerlendirilecek olursa nisan ayından haziran ayına kadar geçen sürede bir miktar azalma gözlenmiş ancak eylül ayında ciddi bir düşüş söz konusu olmuştur. Ardından aralık ayında tuz tematik sınıfının kapladığı alan tekrar artmıştır.

Çalışma alanı içerisinde kalan su varlığı ve tuz tematik sınıflarına ait alanların belirlenmesi amacıyla, 1987, 1997, 2008, Nisan 2018, Haziran 2018, Eylül 2018 ve Aralık 2018 tarihli görüntülere iki ayrı görüntü işleme yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntemler kontrolsüz sınıflandırma ve bant oranlama yöntemleridir. Her iki yöntemle bulunan sonuçların birbirleri ile uyumu alansal karşılaştırma yapılarak analiz edilmiştir. Su tematik sınıfı ile kaplı alanların karşılaştırma sonuçları Tablo 10'da ve tuz tematik sınıfı ile kaplı alanların karşılaştırma sonuçları ise Tablo 11'de verilmiştir.

Tablo 10. Su varlığı tematik sınıfı için sınıflandırma ve bant oranlama yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması

Tarih	MNDWI (Ha)	Sınıflandırma (Ha)	Örtüşme Oranı (%)
Haziran 1987	7431.48	4151.88	%56
Haziran 1997	4160.16	4077.90	%98
Haziran 2008	1602.72	3250.89	%49
Nisan 2018	2717.82	2099.16	%77
Haziran 2018	2640.87	1952.37	%74
Eylül 2018	672.39	3033.09	%22
Aralık 2018	10552.95	1518.57	%14

Tablo 10'da verilen değerler incelendiğinde en yüksek örtüşme oranının 1997 yılında olduğu belirlenmiştir. Nisan 2018 ve Haziran 2018 tarihli görüntüler ile iki farklı yöntem uygulaması sonucunda birbirine uyumlu olduğu söylenebilecek değerler elde edilmiştir. 1987 ve 2008 tarihli görüntülerde bu uyum azalmakla beraber en düşük örtüşme oranları Eylül 2018 ve Aralık 2018 tarihli görüntü sonuçlarındadır.

Tablo 11. Tuz tematik sınıfı için sınıflandırma ve bant oranlama yöntemi sonuçlarının karşılaştırılması

Tarih	NDSI (Ha)	Sınıflandırma (Ha)	Örtüşme Oranı (%)
Haziran 1987	8319.24	8139.15	%98
Haziran 1997	12682.98	13495.90	%94
Haziran 2008	34743.78	8168.58	%24
Nisan 2018	2203.92	7716.51	%29
Haziran 2018	1559.16	5735.25	%27
Eylül 2018	71.37	5675.49	%1
Aralık 2018	2160.18	4213.71	%51

Tablo 11'de verilen değerler incelendiğinde 1987 ve 1997 tarihli görüntülerde en yüksek örtüşme oranları elde edildiği görülmektedir. Haziran 2008, Nisan 2018 ve Haziran 2018 tarihlerinde örtüşme oranı düşmekle beraber iki yöntemin en düşük örtüşme oranı %1 ile Eylül 2018 tarihli görüntüye aittir.

6. Sonuçlar

Bu uygulama kapsamında Seyfe Gölü'nü de içerisine alan yaklaşık 192 bin hektarlık bir alan çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Seyfe Gölü, Türkiye'de yer alan koruma altındaki 14 Ramsar sulak alanından bir tanesidir.

Bu çalışmada belirlenen alan içerisinde kalan bölgede su varlığı ve tuz tematik sınıfın değişimi incelenmiştir. Yıllara göre değişimin belirlenebilmesi için yaklaşık 10 yıl aralıklı 1987, 1997, 2008 ve 2018 tarihli görüntüler kullanılmıştır. Mevsimlik değişimin incelenmesi için ise Haziran 2018 tarihli görüntü ile beraber yine 2018 yılına ait nisan, eylül ve aralık ayı görüntüleri de kullanılmıştır. Görüntüler

öncelikle kontrolsüz olarak sınıflandırılmış ve ardından görüntülere bu tematik sınıflar için geliştirilmiş bant oranlama yöntemleri uygulanmıştır. Bu yöntemler su varlığı tematik sınıfı için MNDWI ve tuz tematik sınıfı için NDSI'dır.

Çalışma bulguları üç başlık altında değerlendirilebilir. Bunlardan birincisi sınıflandırma sonuçlarıdır. Sınıflandırma sonuçlarına göre su varlığı tematik sınıfı 1987 yılından 2018 yılına kadar doğrusal azalan bir trend göstermiştir. Buna göre su ile kaplı alanlar Haziran 1987 tarihinden Haziran 2018 tarihine kadar geçen sürede yaklaşık %53 oranında azalmıştır. Sınıflandırma sonuçları mevsimsel olarak değerlendirildiğinde su varlığı tematik sınıfının nisan ayından eylül ayına kadar geçen sürede %44 arttığı ve eylül ayından aralık ayına kadar geçen sürede %50 azaldığı belirlenmiştir. Benzer değerlendirmeler tuz tematik sınıfı için de yapılmıştır. Tuz tematik sınıfının değişimi doğrusal bir tren göstermemektedir. Tuz tematik sınıfının kapladığı alanlarda, Haziran 1987 tarihinden Haziran 1997 tarihine kadar geçen sürede yaklaşık %65 artma, Haziran 1997 tarihinden Haziran 2008 tarihine kadar geçen sürede yaklaşık %39 azalma ve Haziran 2008 tarihinden Haziran 2018 tarihine kadar geçen sürede de yine yaklaşık %30 azalma olduğu belirlenmiştir. Sınıflandırma sonuçları mevsimsel olarak değerlendirildiğinde nisan ayından aralık ayına doğru gidildiğinde tuz tematik sınıfının kapladığı alanlarda doğrusal bir azalma olduğu belirlenmiştir. Buna göre tuz ile kaplı alanlar Nisan 2018 tarihinden Aralık 2018 tarihine kadar geçen sürede yaklaşık %45 oranında azalmıştır. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluğu kontrol edilmiş ve tüm görüntüler için %90'ın üzerinde genel doğruluk değerleri hesaplanmıştır.

Çalışmanın takip eden aşamasında su varlığı ve tuz tematik sınıflarının çalışma alanı içerisinde kapladığı alanları belirlemek amacıyla görüntülere bant oranlama yöntemleri uygulanmıştır. Bu işlem, aranan tematik sınıfların çalışma alanı içerisinde daha basit ve kısa şekilde tespit edilebilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. Su varlığı tematik sınıfının belirlenmesi için MNDWI ve tuz tematik sınıfının belirlenmesi için NDSI bant oranlama yöntemleri kullanılmıştır. Bulguların değerlendirildiği ikinci başlık bant oranlama yöntemleridir. Bant oranlama yöntemleri ile alanların belirlenmesinde, sonuç görüntülerde pozitif değer alan pikseller kullanılmıştır, herhangi bir farklı eşik değer belirlenmemiştir.

MNDWI bant oranlama yöntemi sonuçlarına göre su tematik sınıfının kapladığı alanlarda, Haziran 1987 tarihinden Haziran 1997 tarihine kadar geçen sürede yaklaşık %44 oranında azalma, Haziran 1997 tarihinden Haziran 2008 tarihine kadar geçen sürede yaklaşık %61 oranında azalma ve Haziran 2008 tarihinden Haziran 2018 tarihine kadar geçen sürede yaklaşık %64 oranında artma olduğu belirlenmiştir. Değişim mevsimsel olarak incelendiğinde su ile kaplı alanların nisan ayından eylül ayına kadar geçen sürede yaklaşık %75 oranında azaldığı ve eylül ayından aralık ayına kadar geçen sürede yaklaşık %1471 oranında arttığı belirlenmiştir.

NDSI bant oranlama yöntemi sonuçlarına göre tuz tematik sınıfının kapladığı alanlarda, Haziran 1987 tarihinden Haziran 1997 tarihine kadar geçen sürede yaklaşık %52 oranında artma, Haziran 1997 tarihinden Haziran 2008 tarihine kadar geçen sürede yaklaşık %173 oranında artma ve Haziran 2008 tarihinden Haziran 2018 tarihine kadar geçen sürede yaklaşık %96 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. Değişim mevsimsel olarak incelendiğinde tuz ile kaplı alanların nisan ayından eylül ayına kadar geçen sürede yaklaşık %97 oranında azaldığı ve eylül ayından aralık ayına kadar geçen sürede yaklaşık %2725 oranında arttığı belirlenmiştir.

Çalışmanın en son aşamasında bant oranlama yöntemleri ile elde edilen sonuçlar sınıflandırma sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Bulguların değerlendirildiği son başlık iki yöntemin sonuçlarının karşılaştırılmasıdır. Buna göre; bazı görüntülerde oldukça yüksek, bazı görüntülerde ise oldukça düşük örtüşme oranları olduğu görülmüştür. İki yöntemin sonuçları arasında herhangi bir uyum belirlenememiştir. Bunun sebebi, çalışma kapsamında kullanılan iki uzaktan algılama yönteminin de kontrolsüz yaklaşımlar olması söylenebilir.

Çalışma sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, sınıflandırma sonuçlarının doğruluk değerlendirmesinin yapılmış olması sebebiyle daha güvenilir oldukları söylenebilir. Buna göre Seyfe Gölü Sulak Alanı'nda su ile kaplı alanların giderek azaldığı belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarının devam eden çalışmalar ile geliştirilebilmesi için bant oranlama yöntemleri ile elde edilen görüntülerden alanlar hesaplanırken yüksek mekânsal çözünürlüklü görüntülerden faydalanılarak eşik değerler belirlenmelidir. Sınıflandırma yönteminde ise öncelikle kontrollü sınıflandırma yaklaşımlarından yararlanılmalı ve çalışma spektroradyometre ölçmeleri ve arazi çalışmaları ile desteklenmelidir.

Kaynaklar

Aksoy T., Sarı S. ve Çabuk A. (2019). *Sulak alanların yönetimi kapsamında su indeksinin uzaktan algılama ile tespiti, Göller Yöresi*. GSI Journals Serıe B: Advancements In Busıness And Economıcs cilt: 1, sayı: 2, p. 35-48, 2019.

Ateş H. ve Uzer Y. (2011). *Sulak alan projeleri ile kırsal kalkınmanın uyumlaştırılması: Akşehir Gölü ehabilitasyon Projesi örneği.* 38. ICANAS (Uluslararası Asya ve Kuzey Afrika Çalışmaları) Kongresi, cilt:1, Turkey, pp.85-104, 2011

Başıbüyük Z, Ekincioğlu G. ve Yavaşlı D.D. (2020). *Seyfe Gölü çevresinin (Kırşehir) yeraltı suyu kalitesinin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) kullanılarak belirlenmesi*, Aksaray J. Sci. Eng. Volume 4, Issue 1, pp. 77-89. DergiPark akademi, 2020, Aksaray Üniversitesi.

Bozduman Ş. (2019). *Sınıflandırma yöntemiyle sulak alanların değişimi analizi: Dipsiz Lagün örneği*. Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi – 2019; 1(1); 16-20.

Congalton R. G., Green K. (2008). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. Second Edition, CRC Pres.

Çağlayan E. B, Erel F, Samur E. B, Deniz M, Mobariz M. A. ve Kaplan G. (2020). *Uzaktan algılama teknikler ile Akşehir Gölü'ndeki alansal değişiminin izlenmesi.* Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 2(2); 70-76

Çelik M.A., Kızılelma Y., Gülersoy A.E. Ve Durduran M.D. (2013). *Farklı uzaktan algılama teknikleri kullanılarak Aşağı Seyhan Ovası güneyindeki sulak alanlarda meydana gelen değişimin incelenmesi.* Kilis 7 Aralık Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü, Turkish Studies - International Periodical For The Languages, Literature and History of Turkish or Turkic. Volume 8/12 Fall 2013, p. 263-284, ANKARA-TURKEY

Çeşmeci H. (2010*). İklim değişikliğinin Seyfe Gölü sulak alanına, iklimine, ekolojisine ve yöre halkının yaşamına etkileri*. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.

Çetin, M. ve Musaoğlu, N. (2008). *İbreli orman türlerinin hiperspektral uydu görüntüsü ile ayırt edilebilirliğinin araştırılması.* İTÜ Dergisi/d, Mühendislik, 7 (5), 34-40.

Dervişoğlu A. (2018). *Sulak alanların uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile irdelenmesi: Akgöl örneği*. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Guo, H., Hu, Q. ve Jiang, T. (2008), *Annual and seasonal streamflow responses to climate and land-cover changes in the Poyang Lake basin, China.* Journal of Hydrology, 335 (1-4), 106-122.

Jamal, S. ve Ahmad, W. S. (2020). *Assessing land use land cover dynamics of wetland ecosystems using Landsat satellite data.* Springer Nature Applied Sciences 2**,** 1891.

Kalkan K. ve Maktav D. (2016). *Landsat-8 görüntülerinden gölge ve bulut belirleme*. Uzaktan Algılama-Cbs Sempozyumu (UZAL-CBS 2016), 5-7 Ekim 2016, Adana.

Karabulut M. (2015). *Farklı uzaktan algılıma teknikleri kullanılarak Göksu Deltası göllerinde zamansal değişimlerin incelenmesi*. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi Cilt/Vol:8 Sayı:37 Yıl: Nisan 2015 ISSN:1387-9181, Kahramanmaraş.

Kardaş F. ve Cebe M. (2018). *Doğa koruma ve çevre eğitimi açısından sulak alanların işlevleri*. Erzincan Üniversitesi, Eğitim Fakültesi, Fen Bilgisi Öğretmenliği, Menba Su Ürünleri Fakültesi Dergisi Cilt/Vol:4 Sayı/İssue:1 Yıl/Year:2018 Sayfa/Page:29-35:ISSN: 2147-2254, Erzincan.

Kazancı N., Gürbüz A. ve Gökten E. (2009). *Türkiye göllerinin son yüzyılda uğradığı fiziksel değişimler*. 62. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 13−17 Nisan 2009, MTA, Ankara.

Kıymaz S. (2010). *Seyfe Gölü Sulak Alanı ve su kaynakları yönetimine ilişkin sorunlar ve çözüm önerileri*. Ahi Evran Üniversitesi, New World Sciences Academy, 2010, Kırşehir.

Kumar, M. (2012). *Digital ımage processing, photogrammetry and remote sensing division ındian ınstitute of remote sensing, dehra dun.* Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology 81-102, http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-5.pdf, Erişim Tarihi: 05.12.2012.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W. ve Chipman, J. W. (2004). R*emote sensing and ımage ınterpretation*. 5 th Edition, Wiley, USA.

Mutlu A., Kazancı B., Özçetin A. ve Sarıyılmaz F.B. (2020). Akşehir Gölü *zamansal değişiminin bant oranlama yöntemleri ile belirlenmesi*. Türkiye Uzaktan Algılama Dergisi, 2 (1) , 22-28.

Özkan Yılmaz, S. (2008). *Su havzalarında koruma kullanma kriterlerinin saptanması: Terkos Gölü örneği.* Yüksek lisans tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Reis S. ve Yılmaz H.M. (t.y.) *Seyfe Gölü'nün zamansal değişiminin uzaktan algılama tekniği ile izlenmesi.* Aksaray Üniversitesi, Aksaray.

Sarıyılmaz, F.B. (2012). *Zaman serileri ile değişim analizi: İstanbul, Sarıyer örneği.* Yüksek lisans tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sarıyılmaz, F.B. (2017). *CORINE sınıflandırmasının sazlıdere havzası ölçeğinde tematik doğruluk analizi, İstanbul, Sazlıdere Havzası örneği.* Doktora tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Sarıyılmaz F. B., Musaoğlu, N., Tanık, A. ve Kılıç, F. (2015). *İstanbul Sazlıdere Havzası'nın zamansal değişim analizi*, Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği VIII. Sempozyumu, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, Mayıs, 21-23.

Singh, S., Bhardwaj, A. ve Verma, V. K. (2020). *Remote sensing and GIS based analysis of temporal land use/land cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India.* Journal of Environmental Management, 262.

Sunar, F. ve Özkan, C. (2011a). *7. Ünite: Sınıflandırma.* Uzaktan Algılama. T.C. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2320, Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 1317, ISBN 978 – 975 – 06 – 0995 – 4.

Tadese, M., Kumar, L., Koech, R. ve Kogo, B. K. (2020). *Mapping of land-use/land-cover changes and its dynamics in Awash River Basin using remote sensing and GIS*. Remote Sensing Applications: Society and Environment. 19.

Url-1 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Seyfe_G%C3%B6l%C3%BC > alındığı tarih: 18.12.2020

Url-2 <https://earthexplorer.usgs.gov/> Erişim: 06.06.2021

Van Genderen, J.L. ve Lock, B.F. (1977). *Testing land use map accuracy*. Photogrametric Engineering and Remote Sensing, 43, 1135 – 1137.

Wilson, C., ve Weng, Q. (2010). *Assessing surface water Quality and its relation with urban land cover changes in the Lake Calumet Area, Greater Chicago.* Environmental Management (2010) 45:1096–1111.

Yeniyurt C., Hemmami, M., Çağırankaya, S., Koopmanschap E. (2011). *Türkiye'nin Ramsar alanlarında sulak alan yönetim planları değerlendirme raporu.* Doğa Derneği, Ankara, Türkiye.

Arnavutköy İlçesi Arazi Örtüsü Değişiminin LUCAS Sınıflandırma Sistemine Göre Belirlenmesi

Meryem Melissa KOP[1,a], Özlem Ezgi BOZKIR[1,b], Zeynep KILIÇ[1,c], Seval ŞEKER[1,d], Fulya Başak SARIYILMAZ*[1,e]

[1]Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

Öz

Bu çalışmada, İstanbul'un Avrupa Yakası'nda bulunan Arnavutköy ilçesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Arnavutköy; sınırları içerisinde etki eden İstanbul Havalimanı, Kuzey Marmara Otoyolu ve Kanal İstanbul projeleriyle birlikte İstanbul için önemli olan ilçeler arasındadır. Arnavutköy ilçesi arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıfları bu projeler sebebiyle dinamik değişim özelliği göstermektedir. Bu çalışmada 2010, 2016 ve 2020 tarihli LANDSAT 4-5 TM ve LANDSAT 8 OLI görüntüleri ile 2016 ve 2020 tarihli SENTİNEL 2 görüntüleri kullanılarak Arnavutköy ilçesinin arazi örtüsü sınıflarındaki değişim belirlenmiştir. Bu amaçla uydu görüntüleri kontrolsüz ve kontrollü sınıflandırma tekniklerinin uygun şekilde bir arada kullanıldığı hibrit sınıflandırma yöntemiyle işlenmiş ve LUCAS sınıflandırma sisteminin birinci seviyesine ait bilgi sınıfları belirlenmiştir. Bu sınıflar, su varlığı, boş toprak alanlar, ekili alanlar, orman alanları, çalılık ve çimenlik alanlar ile yapay alanlardır. Bu çalışma ile hem ilçenin güncel arazi örtüsü sınıfları hem de bu sınıfların zaman içerisindeki değişimi belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına genel olarak bakıldığında yapay yüzey alanlarında artış olduğu görülmektedir. Aynı zamanda iki farklı uydu verisi ile elde edilen sonuçlar alansal olarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır ve bu görüntülerin farklı çözünürlük özelliklerinin sınıflandırma sonuçlarına etkisi değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Arnavutköy, LANDSAT, LUCAS, SENTINEL, Sınıflandırma

1. Giriş

Arazi örtüsü, arazinin yüzeyini kaplayan doğal bitki örtüsünü de içeren toprak tabakası ile biyoması, tarım ürünlerini ve insan yapılarını ifade eder. Ayrıca toprak örtüsü, orman örtüsü ve yerleşme örtüsünü kapsamaktadır. Fakat arazi kullanımı ise bu kavramın tersine, insanlığın arazi örtüsünden yararlanması anlamına gelmekte olup, arazi yönetim uygulamalarını da içerir ve bu alanlar ekonomik faaliyetlere göre ortaya çıktığı için hammadde, sanayi ve hizmet sektörüne ait alanların arazi örtüsü üzerindeki dağılışını da ifade etmektedir (Sarı vd., 2016).

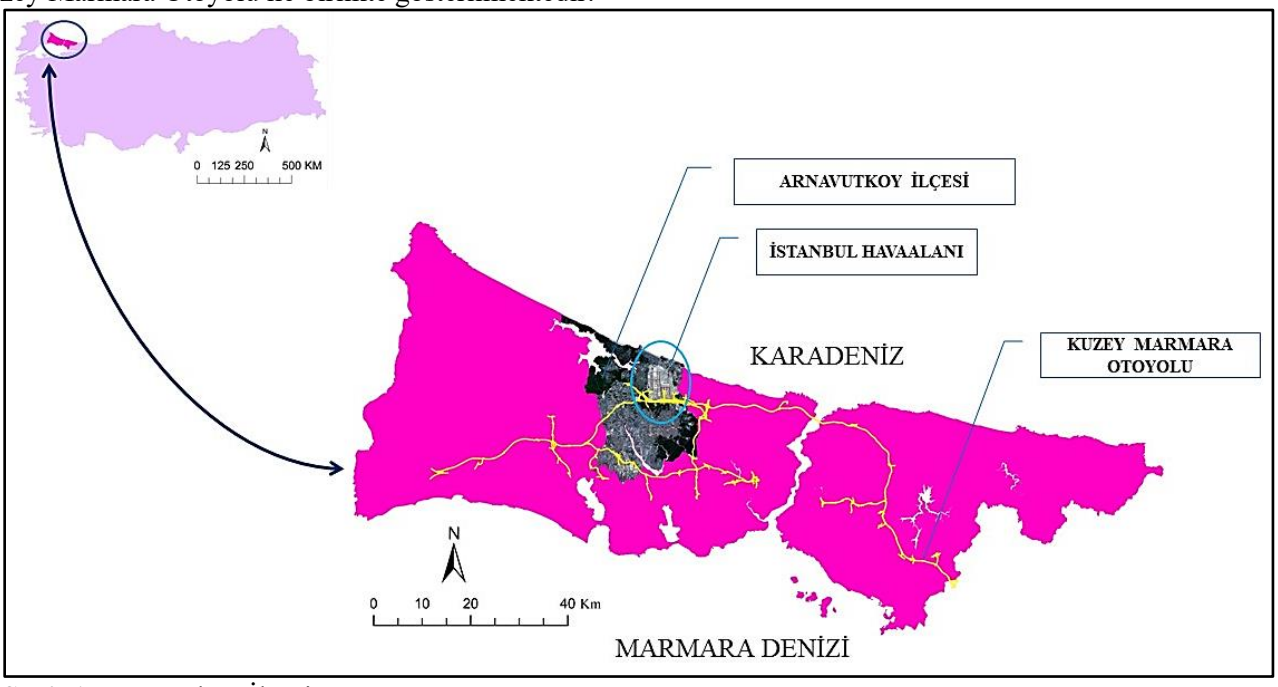
Arnavutköy bölgesinin arazi örtüsü ve arazi kullanımı dinamik değişim göstermektedir. Bu çalışmada arazi örtüsü değişiminin yönünün ve miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Değişim analizi, sürekli değişimden elde edilen bilgiye göre, arazi kullanımı ve arazi örtüsü değişimini içeren temel süreç hakkında daha somut anlayışları işaret eden farklı veri yapılarının ve tematik değişim bilgilerinin ölçülmesidir (Sarıyılmaz, 2012).

Literatürde arazi örtüsü ve arazi kullanımı belirlemek ve değişim analizi yapmak amacıyla Uzaktan algılama ve CBS yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilen birçok çalışma bulunmaktadır (Aykurt, 1995; Kara vd., 2012; Sarıyılmaz, 2012; Mack vd., 2017; Algancı, 2018; Close vd., 2018; Dereli, 2019, de Bem vd., 2020; Işık vd., 2020; Kaya vd., 2020; Mohanrajan vd., 2020; Negassa vd., 2020; Wang vd., 2020; Weigand vd., 2020; Vivekenanda vd., 2021).

Bu çalışmada farklı uzay ajansları tarafından yörüngeye fırlatılan iki ayrı uydu görüntüsü kullanılarak (LANDSAT-8 ve SENTİNEL-2) Arnavutköy ilçesinin belirli zaman aralıklarındaki değişimleri ve güncel arazi örtüsü durumunun belirlenmesi, incelenmesi ve gözlenen sonuçların aktarılması amaçlanmıştır. Bu amaç için 3 Mayıs 2010, 17 Nisan 2016 ve 28 Nisan 2020 tarihli LANDSAT görüntüleri ile 18 Nisan 2016 ve 7 Nisan 2020 tarihli SENTINEL görüntüleri kullanılmıştır.

2. Çalışma Alanı

Çalışmaya konu olan Arnavutköy ilçesinin yüzölçümü 453 km²'dir. Arnavutköy, doğusunda Eyüpsultan, güneydoğusunda Başakşehir ve Esenyurt, güneyinde Büyükçekmece ve batısında Çatalca ilçelerine komşudur. Bu ilçenin kuzeyden Karadeniz'e kıyısı vardır ve ayrıca Durusu Gölü'nün doğu, Küçükçekmece Gölü'nün kuzey ve Büyükçekmece Gölü'nün kuzeydoğu kıyıları ilçe sınırlarında kalır. Arnavutköy ilçesi 3 önemli projeyi sahiplenmektedir. Bunlar, Kanal İstanbul, İstanbul Havaalanı ve Kuzey Marmara Otoyolu'dur. Şekil 1'de Arnavutköy ilçesinin genel konumu, İstanbul Havaalanı ve Kuzey Marmara Otoyolu ile birlikte gösterilmektedir.



Şekil 1. Arnavutköy İlçesi

Çok önemli bir bölümü Arnavutköy ilçesi sınırları içerisinde yer alan "İstanbul Havaalanı" ve "Kanal İstanbul" projeleri Arnavutköy ilçesini bilinir ve İstanbul için en önemli ilçeler arasında kılmaktadır. Bu projeler nedeniyle gerek karayollarında gerek raylı sistemlerde, toplu ulaşımda ve diğer alanlarda çok önemli yeni yatırımlar yapılması öngörülmektedir. 'Kanal İstanbul' projesi İstanbul için en önemli projelerden bir tanesidir. Projenin amacı ise İstanbul boğazındaki gemi trafiği sıkıntısını en aza indirmektir.

Dünyanın en önemli aktarma merkezlerinden biri olan İstanbul ilinin, mevcut olan Atatürk Havalimanı ve Sabiha Gökçen Havalimanı ile artan talebi karşılayamaz duruma gelmesi sebebiyle yeni bir havalimanı inşa edilmesi düşünülmüştür. İstanbul Havaalanı, İstanbul'un kuzeyinde Karadeniz kıyısında Arnavutköy ilçesinde yer almaktadır. Yeni havaalanının özellikle ilçenin iç bölgelerinin ulaşım imkânlarına yeni alternatifler katması ve ilçenin bilinirliğini artırma gibi etkilerinin olması beklenmektedir.

3. Kullanılan Veriler

Arnavutköy İlçesi'nde arazi örtüsü değişimini ve güncel durumu belirlemek amacıyla, Mayıs 2010 tarihli LANDSAT 4-5 TM, Nisan 2016 ve Nisan 2020 tarihli LANDSAT 8 OLI, Nisan 2016 ve Nisan 2020 tarihli SENTİNEL-2 görüntüleri kullanılmıştır. LANDSAT görüntüleri 30 m ve SENTİNEL görüntüleri 10 m mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Görüntüler UTM WGS 84 datum ve koordinat sistemindedir. Görüntüler radyometrik ve geometrik düzeltmeleri yapılmış halde ve ücretsiz olarak temin edilmiştir (URL-1).

4. Uygulama ve Bulgular

Uygulama aşamasında öncelikle tüm görüntüler LUCAS sınıflandırma sisteminin arazi örtüsü 1. seviyesine göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılmış görüntülerin doğruluk değerlendirmesi yapılmış, elde edilen sonuçların kabul edilebilir sınırlar içerisinde kaldığı görülmüştür. Sınıflandırma işlemi ile çalışma alanı içerisinde hangi alanın ne kadar yer kapladığı belirlenmiş ve iki farklı özellikteki uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu aşamadan sonra değişim analizi uygulamasına geçilmiştir. Değişim analizi aşamasında LANDSAT ve SENTINEL görüntüleri kendi aralarında değerlendirilmiştir. Bu şekilde iki farklı veri kullanılarak değişimin yönü ve miktarı karşılaştırmalı olarak elde edilmiştir.

4.1. Sınıflandırma ve Doğruluk Analizi

Sınıflandırmada amaç, matematiksel yöntemler kullanarak görüntünün kategorize edilmesidir. Sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde, çalışmada kullanılacak dalga boyunun seçilmesi, yeteri doğruluk ve sayıda kontrol nokta ya da alanlarının belirlenmesi, amaca uygun sınıflandırma algoritmasının seçilmesi ile sınıflandırılmış görüntülerde doğruluk değerlendirmesinin yapılması önem taşımaktadır. Görüntülerin sınıflandırılmasında kullanılan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada, piksel tabanlı görüntü sınıflandırma kullanılmıştır. Piksel tabanlı sınıflandırma yöntemlerinde görüntüyü oluşturan pikseller ayrı ayrı ele alınır ve her pikselin ait olduğu sınıf belirlenmeye çalışılır. Bu yöntemler ile her pikselin spektral bant yansıtım özellikleri analiz edilir ve genelde her pikselin tek bir sınıfa ait olacağı kabul edilmektedir (Çetin vd., 2008).

Bu çalışmada, uydu görüntülerinden arazi örtüsü sınıflarının elde edilmesinde sırasıyla, kontrolsüz sınıflandırma, kontrollü sınıflandırma ve doğruluk analizi işlem adımları gerçekleştirilmiştir. Kontrolsüz sınıflandırmada ISODATA algoritması kullanılmıştır. Kontrolsüz sınıflandırma işleminin amacı çalışma bölgesi için spektral olarak ayrılabilir sınıfları belirlemektir (Lillesand vd., 2004). Bu çalışmada kontrolsüz sınıflandırma sonuçları kontrollü sınıflandırma için öncül tematik veri olarak kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırmada ise en çok benzerlik algoritması kullanılmıştır. Bu çalışmada görüntüler LUCAS sınıflandırma sistemi, arazi örtüsü sınıflandırması 1. seviyesine göre sınıflandırılmıştır. LUCAS sınıflandırma sisteminde arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıfları ayrı ayrı ele alınmaktadır. LUCAS metodolojisi arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimleri hakkında standart veri üretmek amacı ile kullanılmaktadır. LUCAS arazi örtüsü sınıflandırma sistemi üç düzeyli hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Birinci düzeyde; arazi örtüsü 8 ana kategoriye ayrılır. İkinci düzeyde; temel arazi örtüsü birimleri kendi içinde 28 alt kategoriye, üçüncü düzeyde ise 72 alt kategoriye ayrılır (Url-2, 2017, Sarıyılmaz ve Musaoğlu, 2018).

Sınıflandırma sonucunda her görüntüde LUCAS veri tabanının birinci seviyesine ait altı adet bilgi sınıfı elde edilmiştir. Bunlar; su varlığı, orman alanları, çalılık ve çimenlik alanlar, boş toprak alanlar, ekili alanlar ve yapay alanlardır. 30 m mekânsal çözünürlükte çalı ve çimen için ayrı sınıflar oluşturmak mümkün olmadığı için bu iki yeryüzü nesnesi LUCAS sınıflandırma sistemine göre farklı sınıflarda olması gerekirken tek bir tematik sınıfta toplanmıştır.

Sınıflandırmada doğruluk kavramı, örüntülerin gerçekten ait oldukları kategorilere atanmasını ifade eder. Örüntülerin yanlış sınıflara atanması sınıflandırma hatasıdır. Hata Matrisi, sınıflandırma doğruluklarının belirlenmesinde en yaygın yaklaşımdır. Sınıflandırma sonuçlarının gerçek dünyaya ne kadar yakın olduğunu değerlendirmek mümkündür. Hata matrisi, satır ve sütunlardan oluşmaktadır ve her bir sınıf için, seçilen örnek sayısı ve yer doğruluklu referans verideki karşılığını gösterir. Matrisin sütunları referans veriyi (gerçek arazi örtüsü), satırları ise sınıflandırma sonucunda tanımlanmış arazi örtüsü sınıf karşılığını ifade eder. Matrisin köşe elemanları sınıflar için sınıflandırma ve referans verinin uyuştuğu örnek sayısını vermektedir (Sarıyılmaz, 2017).

Sınıflandırmaların doğruluk analizi hesaplamalarında Kappa istatistiği ve genel doğruluk değerleri kullanılmıştır. Kappa istatistiği sınıflar arasında güven seviyesini belirleme amacıyla kullanılan bir istatistik yöntemidir. Kappa istatistiği iki değişken arasındaki uyum oranını belirlemek amacıyla geliştirilmiştir (Çetinkaya vd., 2007).

Hata matrisi ile doğruluk değerlendirmesi sırasında rastgele nokta sayısının belirlenmesi için Binomal örnekleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yönteme göre örnek sayılarının belirlenmesinde;

$$N=(Z^2pq)/E^2 \quad (1)$$

eşitliği kullanılmıştır (Sarıyılmaz, 2017).

Bu eşitlikte;

N = Örnek sayısı

p = Beklenen doğruluk

q = 100 – p

E = Hesaba katılabilir hata

Z = % 95 güven aralığı için standart normal sapma (1.96) olarak tanımlanır.

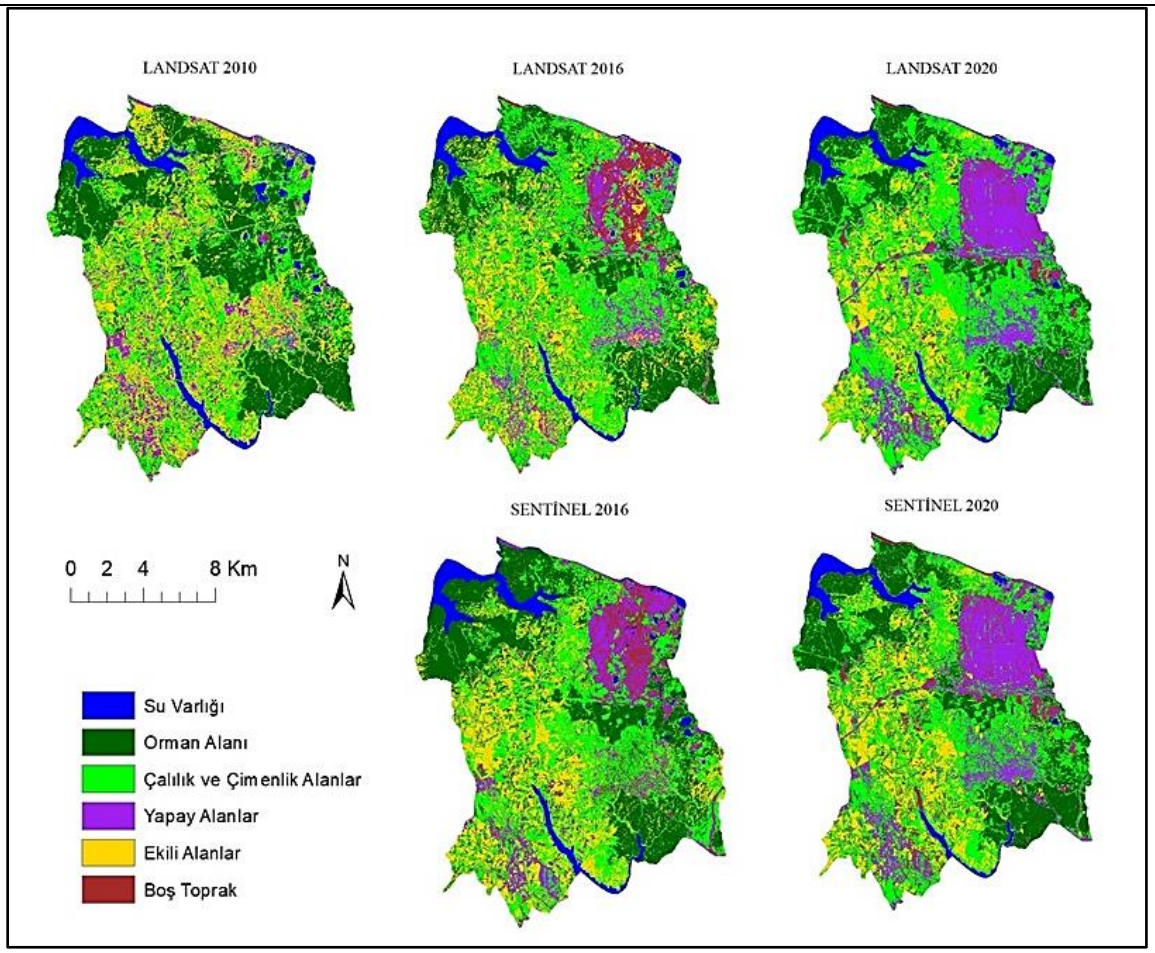
Sınıflandırılmış görüntülere yapılan doğruluk analizi ile elde edilen kappa istatistik katsayısı ve genel doğruluk değerleri Tablo 1 ve Tablo 2' de gösterilmiştir. LANDSAT 2010, 2016, 2020 ve SENTİNEL 2016 ve 2020 yıllarına ait sınıflandırılmış görüntüler Şekil 2'de verilmektedir.

Tablo 1. Doğruluk Analizi Sonuçları

LANDSAT Görüntüsünün Ait Olduğu Tarih	Kappa İstatistik Değeri	Genel Doğruluk (%)
2010	0.7854	83.11
2016	0.7687	81.87
2020	0.8517	88.42

Tablo 2. Doğruluk Analizi Sonuçları

SENTİNEL Görüntüsünün Ait Olduğu Tarih	Kappa İstatistik Değeri	Genel Doğruluk (%)
2016	0.9299	94.43
2020	0.8989	91.93



Şekil 2. Sınıflandırma Sonuçları

Sınıflandırılmış görüntüler incelendiğinde, LANDSAT 2010 yılı görüntüsünde, henüz İstanbul Havaalanı inşa edilmediği için o bölgede de orman alanı ve ekili alan sınıfları yer almaktadır. Ancak 2016 ve 2020 yıllarına ait görüntülerde Havaalanı çalışmaları olduğu için orman alanında ve ekili alanda dikkat çeken bir azalış, yapay alan ile çalılık ve çimenlik alanda ise artış olduğu gözlemlenmiştir. Tablo 3'de 2010, 2016 ve 2020 yılı görüntülerinde sınıfların kapladıkları alanlar yüzde dağılım olarak ifade edilmiştir.

Tablo 3. Arazi Örtüsü Sınıflarının Dağılımı

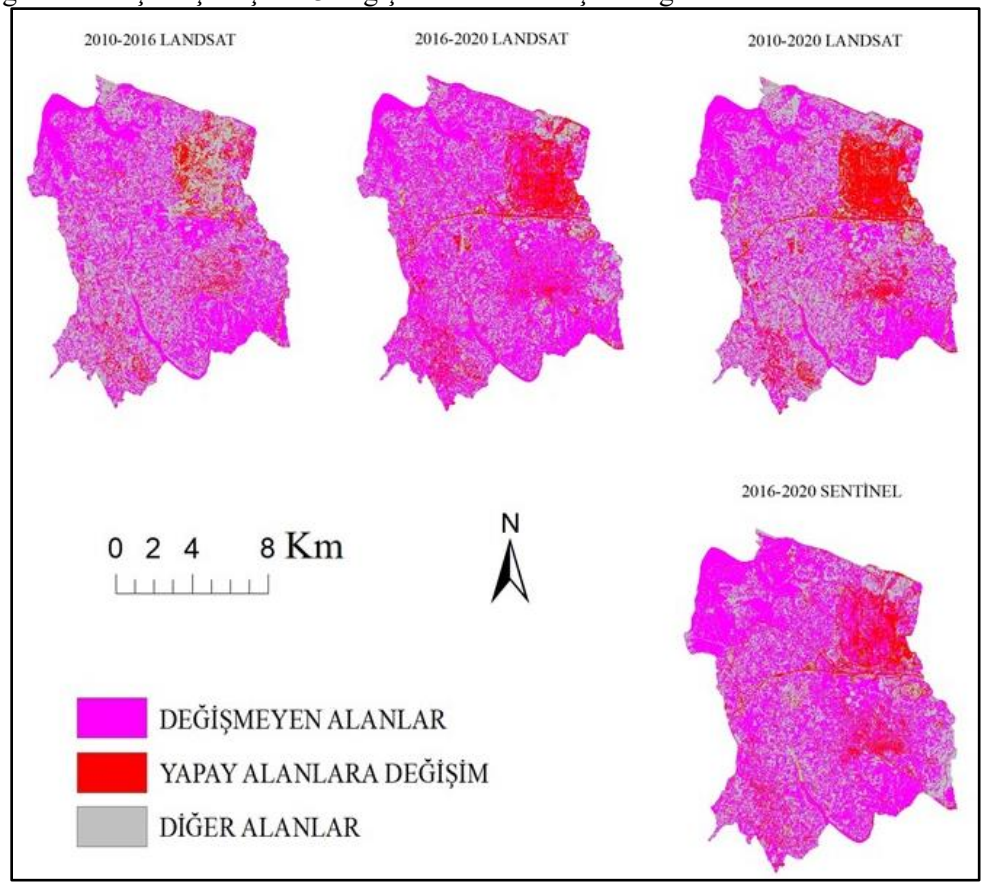
	LANDSAT 4-5 2010	LANDSAT 8 2016	LANDSAT 8 2020	SENTİNEL 2 2016	SENTİNEL 2 2020

Su Varlığı	%5	%4	%5	%5	%4
Orman Alanı	%32	%23	%18	%27	%23
Çalı ve Çimenlik Alan	%28	%36	%42	%31	%34
	%8	%10	%18	%10	%17
Yapay Alan	%26	%22	%13	%19	%15
Ekili Alan	%1	%5	%4	%8	%7
Boş Toprak Alan					

Aynı tarihli LANDSAT ve SENTİNEL görüntülerinden elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında büyük ölçüde birbirleriyle uyumlu oldukları görülmektedir. Aralarındaki farklar mekânsal çözünürlük farkından kaynaklanmaktadır.

4.2. Değişim Analizi

Çalışma alanı içerisinde söz konusu altı sınıfın nasıl değişim gösterdiğinin belirlenmesi amacıyla sınıflandırılmış görüntülerden elde edilen görüntü matrisleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Bu işlem ile hiç değişim göstermeyen alanların miktarı ve hangi sınıfın hangi sınıfa, hangi miktarda dönüştüğü bilgilerine ulaşılmıştır. Şekil 3 değişim analizi sonuçlarını göstermektedir.



Şekil 3. Değişim Analizi

Tablo 4, Tablo 5, Tablo 6 ve Tablo 7 sınıflar arası değişimin yönünü ve miktarını sayısal olarak ifade etmektedir.

Tablo 4. LANDSAT 2010 ve 2016 yılları arasındaki değişim

Sınıf Numarası		% Değişim Analizi
2010	2016	
SU VARLIĞI (1)		

1	1	76.2
1	2	0.3
1	3	10.3
1	4	4.7
1	5	2.8
1	6	5.7
ORMAN ALANI (2)		
2	1	0.00
2	2	55.6
2	3	17.6
2	4	6.0
2	5	15.6
2	6	5.2
ÇALILIK VE ÇİMENLİK ALANI (3)		
3	1	0.5
3	2	10.8
3	3	53.7
3	4	9.0
3	5	21.9
3	6	4.1
YAPAY ALAN (4)		
4	1	0.2
4	2	1.5
4	3	30.8
4	4	35.9
4	5	24.6
4	6	7.0
EKİLİ ALAN (5)		
5	1	0.1
5	2	7.6
5	3	48.0
5	4	9.4
5	5	31.9
5	6	3.0
BOŞ TOPRAK ALAN (6)		
6	1	0.3
6	2	0.4
6	3	15.9
6	4	34.9
6	5	37.9
6	6	10.6

Tablo 4 incelendiğinde, 2010 yılında ekili alan olan bölgelerin yaklaşık %32'sinin 2016 yılında da yine ekili alan olarak kaldığı görülmektedir. Aynı zamanda 2010 yılında orman alanı sınıfına ait olan alanların yalnızca % 56'sı 2016 yılında yine orman alanı sınıfına ait olarak kalmıştır. 2010 yılında ekili alan olan bölgenin 2016 yılında %9'u ve orman alan olan bölgenin %6'sı yapay alana dönüşmüştür. 2010 yılında yapay alanın %36'sının 2016 yılında da yine yapay alan olarak kaldığı görülmektedir.

Tablo 5. LANDSAT 2016 ve 2020 yılları arasındaki değişim

Sınıf Numarası		% Değişim Analizi
2016	2020	
SU VARLIĞI (1)		

1	1	89.2
1	2	0.5
1	3	2.5
1	4	5.4
1	5	0.4
1	6	2.0
ORMAN ALANI (2)		
2	1	0.1
2	2	60.6
2	3	28.4
2	4	4.3
2	5	5.0
2	6	1.6
ÇALILIK VE ÇİMENLİK ALANI (3)		
3	1	0.7
3	2	4.7
3	3	69.4
3	4	11.8
3	5	10.0
3	6	3.4
YAPAY ALAN (4)		
4	1	0.9
4	2	0.2
4	3	24.3
4	4	60.3
4	5	4.7
4	6	9.6
EKİLİ ALAN (5)		
5	1	0.1
5	2	12.4
5	3	30.2
5	4	15.7
5	5	36.7
5	6	4.9
BOŞ TOPRAK ALAN (6)		
6	1	1.4
6	2	0.3
6	3	15.7
6	4	66.9
6	5	1.5
6	6	14.2

Tablo 5 incelendiğinde, 2016 yılında ekili alan olan bölgelerin yaklaşık %37'sinin 2020 yılında da yine ekili alan olarak kaldığı görülmektedir. Aynı zamanda 2016 yılında orman alanı sınıfına ait olan alanların yalnızca % 61'i 2016 yılında yine orman alanı sınıfına ait olarak kalmıştır. 2016 yılında ekili alan olan bölgenin 2020 yılında %16'sı ve orman alan olan bölgenin %5'i yapay alana dönüşmüştür. 2016 yılında yapay alanın %60'ının 2020 yılında da yine yapay alan olarak kaldığı görülmektedir.

Tablo 6. LANDSAT 2010 ve 2020 yılları arasındaki değişim

Sınıf Numarası		%
2010	2020	Değişim Analizi
SU VARLIĞI (1)		

1	1	71.3
1	2	1.3
1	3	9.8
1	4	12.2
1	5	2.2
1	6	3.2
ORMAN ALANI (2)		
2	1	0.1
2	2	49.2
2	3	26.0
2	4	16.4
2	5	4.8
2	6	3.5
ÇALILIK VE ÇİMENLİK ALANI (3)		
3	1	1.0
3	2	3.3
3	3	57.4
3	4	17.2
3	5	16.7
3	6	4.4
YAPAY ALAN (4)		
4	1	1.0
4	2	0.2
4	3	37.1
4	4	40.0
4	5	12.6
4	6	9.1
EKİLİ ALAN (5)		
5	1	0.2
5	2	6.3
5	3	52.1
5	4	14.9
5	5	22.7
5	6	3.8
BOŞ TOPRAK ALAN (6)		
6	1	0.5
6	2	0.2
6	3	21.8
6	4	48.4
6	5	12.4
6	6	16.7

Tablo 6 incelendiğinde, 2010 yılında ekili alan olan bölgelerin yaklaşık %23'ünün 2020 yılında da yine ekili alan olarak kaldığı görülmektedir. Aynı zamanda 2010 yılında orman alanı sınıfına ait olan alanların yalnızca % 50'si 2020 yılında yine orman alanı sınıfına ait olarak kalmıştır. 2010 yılında ekili alan olan bölgenin 2020 yılında %15'i ve orman alan olan bölgenin %16'sı yapay alana dönüşmüştür. 2010 yılında yapay alanın % 40'ının 2020 yılında da yine yapay alan olarak kaldığı görülmektedir.

Tablo 7. SENTİNEL 2016 ve 2020 yılları arasındaki değişim

Sınıf Numarası		%
2016	2020	Değişim Analizi
SU VARLIĞI (1)		

1	1	67.5
1	2	1.3
1	3	6.1
1	4	11.1
1	5	4.8
1	6	9.2
ORMAN ALANI (2)		
2	1	0.1
2	2	69.2
2	3	16.3
2	4	4.3
2	5	7.8
2	6	2.3
ÇALILIK VE ÇİMENLİK ALANI (3)		
3	1	0.1
3	2	9.6
3	3	60.4
3	4	13.4
3	5	10.7
3	6	5.8
YAPAY ALAN (4)		
4	1	0.8
4	2	0.6
4	3	19.6
4	4	54.6
4	5	4.6
4	6	19.8
EKİLİ ALAN (5)		
5	1	0.0
5	2	7.4
5	3	36.6
5	4	4.2
5	5	46.1
5	6	5.7
BOŞ TOPRAK ALAN (6)		
6	1	0.6
6	2	1.0
6	3	19.3
6	4	55.6
6	5	6.2
6	6	17.3

Tablo 7 incelendiğinde, 2016 yılında ekili alan olan bölgelerin yaklaşık %46'sının 2020 yılında da yine ekili alan olarak kaldığı görülmektedir. Aynı zamanda 2016 yılında orman alanı sınıfına ait olan alanların yalnızca % 69'u 2020 yılında yine orman alanı sınıfına ait olarak kalmıştır. 2016 yılında ekili alan olan bölgenin 2020 yılında %4'ü ve orman alan olan bölgenin %4'ü yapay alana dönüşmüştür. 2016 yılında yapay alanın %55'inin 2020 yılında da yine yapay alan olarak kaldığı görülmektedir.

5.SONUÇLAR

Bu uygulama kapsamına çalışma alanı olarak İstanbul'un Arnavutköy İlçesi seçilmiştir. Arnavutköy İlçesi; İstanbul Havaalanı, Kuzey Marmara Otoyolu ve Kanal İstanbul projelerinin etkisi altında kalmaktadır ve bu sebeple dinamik bir arazi örtüsü ve arazi kullanımı değişimi göstermektedir. Bu bölgenin çalışma alanı olarak seçilmesinde bu değişimin dinamiğinin etkisi büyüktür.

Bu çalışmada Arnavutköy ilçesi sınırları içerisindeki güncel arazi örtüsü durumunun ve arazi örtüsü değişiminin 30 m mekânsal çözünürlüklü LANDSAT ve 10 m mekânsal çözünürlüklü SENTINEL görüntüleri kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 2010, 2016 ve 2020 tarihli LANDSAT görüntüleri ile 2016 ve 2020 tarihli SENTINEL görüntüleri kullanılmıştır. Öncelikle görüntüler, kontrolsüz ve kontrollü sınıflandırma sistemlerinin bir arada uygun şekilde kullanıldığı hibrit sınıflandırma yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Ardından tüm görüntülere doğruluk analizi işlemi uygulanmış ve elde edilen sonuçların kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür. Sınıflandırma işlemi ile uydu görüntülerinde yıllara göre arazi örtüsü sınıfları belirlenmiştir. Sınıflandırma işlemi ile arazi örtüsü sınıflarının belirlenmesinin ardından değişim analizi işlemine geçilmiştir. Bu aşamada LANDSAT görüntüleri kendi içinde ve SENTINEL görüntüleri de yine kendi içinde değerlendirilmiştir. Bu şekilde arazi örtüsü değişiminin yönü ve miktarı belirlenmiştir.

Çalışma bulguları iki aşamada incelenebilir. Birinci aşama sınıflandırma ve doğruluk analizi sonuçlarıdır. LANDSAT görüntülerinde orman alanlarına ait bulgular incelendiğinde 2010 yılından 2016 yılına kadar geçen 6 yıllık sürede yaklaşık %28 oranında azalma, 2016 yılından 2020 yılına kadar geçen 4 yıllık sürede yaklaşık %22 oranında azalma ve 2010 yılından 2020 yılına kadar geçen toplam 10 yıllık sürede yaklaşık %44 oranında azalma olduğu belirlenmiştir. Ekili alanlara ait bulgular incelendiğinde 2010 yılından 2016 yılına kadar geçen 6 yıllık sürede yaklaşık %15 oranında azalma, 2016 yılından 2020 yılına kadar geçen 4 yıllık sürede yaklaşık %41 oranında azalma ve 2010 yılından 2020 yılına kadar geçen toplam 10 yıllık sürede yaklaşık %50 oranında azalma belirlenmiştir. Bunun yanında yine LANDSAT görüntülerinde yapay alanlara ait bulgular incelendiğinde 2010 yılından 2016 yılına kadar geçen 6 yıllık sürede yaklaşık %25 oranında artma, 2016 yılından 2020 yılına kadar geçen 4 yıllık sürede yaklaşık %80 oranında artma ve 2010 yılından 2020 yılına kadar geçen toplam 10 yıllık sürede yaklaşık %125 oranında artma olduğu belirlenmiştir. 2010, 2016 ve 2020 tarihli sınıflandırılmış LANDSAT görüntülerinin genel doğrulukları sırasıyla yaklaşık olarak %83, %82 ve %88'dir. SENTINEL görüntülerinde 2016 yılından 2020 yılına kadar geçen 4 yıllık sürede orman alanlarına ait bulgular incelendiğinde yaklaşık %15 oranında azalma, ekili alanlara ait bulgular incelendiğinde yaklaşık %21 oranında azalma ve yapay alanlara ait bulgular incelendiğinde yaklaşık %70 oranında artma olduğu belirlenmiştir. 2016 ve 2020 tarihli sınıflandırılmış SENTINEL görüntülerinin genel doğrulukları sırasıyla yaklaşık olarak %94 ve %92'dir. LANDSAT ve SENTINEL görüntülerinden elde edilen sınıflandırma sonuçları birbirleri ile karşılaştırıldığında genel olarak birbirlerine uyumlu oldukları görülmektedir. Aralarındaki farklar mekânsal çözünürlük farkından kaynaklanmaktadır. Doğruluk analizi sonuçlarında bakıldığında SENTINEL görüntüleri kullanılarak elde edilen sonuçların daha yüksek doğruluklu olduğu anlaşılmaktadır. Özellikle sınıflandırılacak detay seviyesi arttığında SENTINEL görüntülerinde mekânsal çözünürlüğün 10 m olmasının, 30 m mekânsal çözünürlüklü LANDSAT görüntülerine göre avantaj sağladığı anlaşılmıştır.

Çalışma bulgularının değerlendirileceği ikinci aşama değişim analizi sonuçlarıdır. Değişim analizi işlemi ile hangi sınıftan hangi sınıfa doğru ne kadarlık bir değişim olduğunu yani değişimin yönünü ve miktarını belirlemek mümkün olmuştur. LANDSAT görüntülerine ait değişim analizi bulguları incelendiğinde 2010 yılından 2016 yılına kadar geçen 6 yıllık sürede orman alanlarının %6'sının ve ekili alanların %9'unun, 2016 yılından 2020 yılına kadar geçen 4 yıllık sürede orman alanlarının %4'ünün ve ekili alanların %16'sının ve son olarak 2010 yılından 2020 yılına kadar geçen toplam 10 yıllık sürede orman alanlarının yaklaşık %16'sının ve ekili alanların yaklaşık %15'inin yapay alanlara dönüştüğü belirlenmiştir. Bunun yanında yine LANDSAT görüntülerine ait değişim analizi bulguları incelendiğinde 2010 yılından 2016 yılına kadar geçen 6 yıllık sürede ekili alanların yaklaşık %48'inin çalılık ve çimenlik alanlara ve yaklaşık %3'ünün de boş toprak alanlara, 2016 yılından 2020 yılına kadar geçen 4 yıllık sürede ekili alanların yaklaşık %30'unun çalılık ve çimenlik alanlara ve yaklaşık %5'inin boş toprak alanlara, 2010 yılından 2020 yılına kadar geçen toplam 10 yıllık sürede ekili alanların yaklaşık %52'sinin çalılık ve çimenlik alanlara ve yaklaşık %4'ünün boş toprak alanlara dönüştüğü belirlenmiştir. SENTINEL görüntülerine ait değişim analizi bulguları incelendiğinde 2016 yılından 2020 yılına kadar geçen 4 yıllık sürede ekili alanların yaklaşık %37'sinin çalılık ve çimenlik alanlara ve yaklaşık %6'sının boş toprak alanlara dönüştüğü belirlenmiştir.

Çalışma sonuçları genel olarak incelendiğinde orman alanlarında ve ekili alanlarda azalma ile yapay alanlarda artma olduğu ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında ilçe sınırları içerisinde tarım faaliyetlerinin önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Ayrıca LUCAS sınıflandırma sistemi gibi detaylı bir arazi örtüsü

sınıflandırması yapılmak ihtiyacı olduğu durumlarda SENTINEL görüntülerinin LANDSAT görüntülerine göre daha avantajlı olabileceği anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

Algancı, U. (2018). *Arazi örtüsü değişimlerinin çok zamanlı Landsat 8 uydu görüntüleri ile belirlenmesi: İstanbul örneği.* İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

Aykurt, M. D. (1995). *Landsat sayısal uydu verileri kullanarak Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti Güzelyurt bölgesi arazi kullanım haritasının oluşturulması üzerine bir araştırma.* Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Toprak Anabilim Bölümü, Adana.

Close, O., Benjamin, B., Petit, S., Fripiat, X. ve Hallot, E. (2018). *Use of Sentinel-2 and LUCAS Database for the inventory of land use, land use change, and forestry in Wallonia, Belgium. Land.* 7, 154.

Çetin, M. ve Musaoğlu, N., (2008). *İbreli orman türlerinin hiperspektral uydu görüntüsü ile ayırt edilebilirliğinin araştırılması*. *İTÜ Dergisi/d, Mühendislik*, Cilt: 7, Sayı: 5, 34 – 40.

de Bem P. P., de Carvalho Junior O. A., Fontes Guimarães R. ve Trancoso Gomes R. A., (2020). *Change detection of deforestation in the Brazilian Amazon using Landsat data and convolutional neural networks*. Remote Sensing. 2020; 12(6):901.

Dereli, M. A. (2019). *Sentinel-2A uydu görüntüleri ile Giresun il merkezi için kısa dönem arazi örtüsü değişiminin belirlenmesi.* Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Giresun.

Işık Pekkan, Ö., Kalkan, K. ve Çabuk, A. (2020). Arazi örtüsü değişiminin modellenmesi: Karaburun Yarımadası örneği. GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies, 3 (2), 21-38 .

Kara, F. ve Karatepe, A. (2012). *Uzaktan algılama teknolojileri ile Beykoz ilçesi (1986-2011) arazi kullanımı değişim analizi.* Fatih Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Sakarya.

Kaya, N., Demirağ Turan, İ., Dengiz, O. ve Saygın, F. (2020). *Farklı konumsal çözünürlüğe sahip uydu görüntüleri kullanarak CORINE arazi örtüsü/arazi kullanım sınıflarının belirlenmesi.* Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 7 (2), 207-218.

Lillesand, T.M., Kiefer, R.W. ve Chipman, J.W. (2004). Remote Sensing andImage Interpretation. 5th Edition, Wiley, USA.

Mack, B., Leinenkugel, P., Kuenzer, C. ve Dech, S. (2017) *A semi-automated approach for the generation of a new land use and land cover product for Germany based on Landsat time-series and LUCAS in-situ data.* Remote Sensing Letters, 8:3, 244-253.

Mohanrajan S. N., Loganathan, A. ve Manoharan P. (2020). *Survey on land use/land cover (LU/LC) change analysis in remote sensing and GIS environment: techniques and challenges.* Environmental Science and Pollution Research (2020) 27:29900–29926.

Negassa, M. D., Mallie, D. T. ve Gemeda, D. O. (2020). *Forest cover change detection using Geographic Information Systems and remote sensing techniques: a spatio-temporal study on Komto Protected forest priority area, East Wollega Zone, Ethiopia*. Environmental System Research 9, 1.

Sarı, H. ve Özşahin E. (2016). *CORINE sistemine göre Tekirdağ ilinin AKAÖ (AraziKullanımı/Arazi Örtüsü) özelliklerinin analizi.* Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimleri ve Bitki Besleme Bölümü, Tekirdağ.

Sarıyılmaz, F. B. (2012), *Zaman serileri ile değişim analizi: İstanbul, Sarıyer örneği*. Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Sarıyılmaz. F. B. (2017). *CORINE sınıflandırmasının Sazlıdere havzası ölçeğinde tematik doğruluk analizi*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Maslak, İstanbul.

Sarıyılmaz, F. B ve Musaoğlu, N. (2018). CORINE sınıflandırmasının tematik doğruluk analizinde LUCAS metodolojisinin kullanımı, VII. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2018), 18-21 Eylül, Eskişehir

Url-1 <https://earthexplorer.usgs.gov/> Erişim: 06.06.2021

Url-2 <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/205002/6786255/LUCAS2015_C3Classification_20160729.pdf> Erişim: 23.06.2017

Vivekenanda, G. N., Swathi, R. ve Sujith, A. V. L. N. (2021), *Multi-temporal image analysis for LULC classification and change detection,* European Journal of Remote Sensing, 54:sup2, 189-199.

Wang, S. W., Gebru, B. M., Lamchin, M., Kayastha, R. B. ve Lee, W. K. (2020). *Land use and land cover change detection and prediction in the Kathmandu District of Nepal using remote sensing and GIS*. Sustainability, 12(9), 3925.

Weigand, M., Staab, J., Wurm, M. ve Taubenböck, H. (2020). *Spatial and semantic effects of LUCAS samples on fully automated land use/land cover classification in high-resolution Sentinel-2 data.* International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 88, 102065.

Trabzon İli Kıyı Şeridi Arazi Örtüsü ve Arazi Kullanımı Değişimlerinin Farklı Sınıflandırma Algoritmaları Kullanılarak Belirlenmesi

İlksen KAHRAMAN[1,a], Fulya Başak SARIYILMAZ*[1,b]
[1]Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

Öz

Trabzon, Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nde bulunan gelişmekte olan bir liman şehridir. Türkiye'nin en kalabalık 27. şehri olan Trabzon'da coğrafi yapı sebebiyle kentleşme özellikle kıyı kesimlerde yoğunlaşmaktadır. Bu çalışmanın amacı Trabzon'da kıyıdan karaya doğru yaklaşık 20 km'lik mesafe içerisinde yer alan bölgede arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarında zamanla meydana gelen değişimin farklı sınıflandırma algoritmaları kullanılarak incelenmesidir. 1989, 2003 ve 2019 tarihli LANDSAT görüntüleri, kontrolsüz ve kontrollü sınıflandırma tekniklerinin uygun şekilde bir arada kullanıldığı hibrit sınıflandırma yöntemi ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işlemi sonucunda CORINE sınıflandırma sistemi birinci seviyesine ait dört adet bilgi sınıfı belirlenmiştir. Bu sınıflar, orman ve yarı doğal alanlar, yapay yüzeyler, tarım alanları ile su varlığı sınıflarıdır. Bu çalışmada ayrıca farklı algoritmalar ile elde edilen sınıflandırılmış görüntülerin doğrulukları da birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Arazi Örtüsü ve Kullanımı, CORINE, Doğruluk Analizi, Sınıflandırma, Trabzon

1. GİRİŞ

Arazi kullanımının değişen biçimleri ekonomik, sosyal ve çevresel koşulların da değişimini yansıtır. Arazi örtüsü ve kullanımın güncel durumunun ve meydana gelen değişimlerin hızlı ve ekonomik şekilde belirlenmesi uydu görüntülerinin sınıflandırmasıyla mümkündür. Uzaktan algılamada piksel tabanlı sınıflandırma, bir görüntüdeki her bir piksel değerinin ait olduğu özellik grubunu belirleme işlemidir. Sınıflandırma, tematik bilgi çıkarmak için kullanılan çok önemli bir yöntemdir.

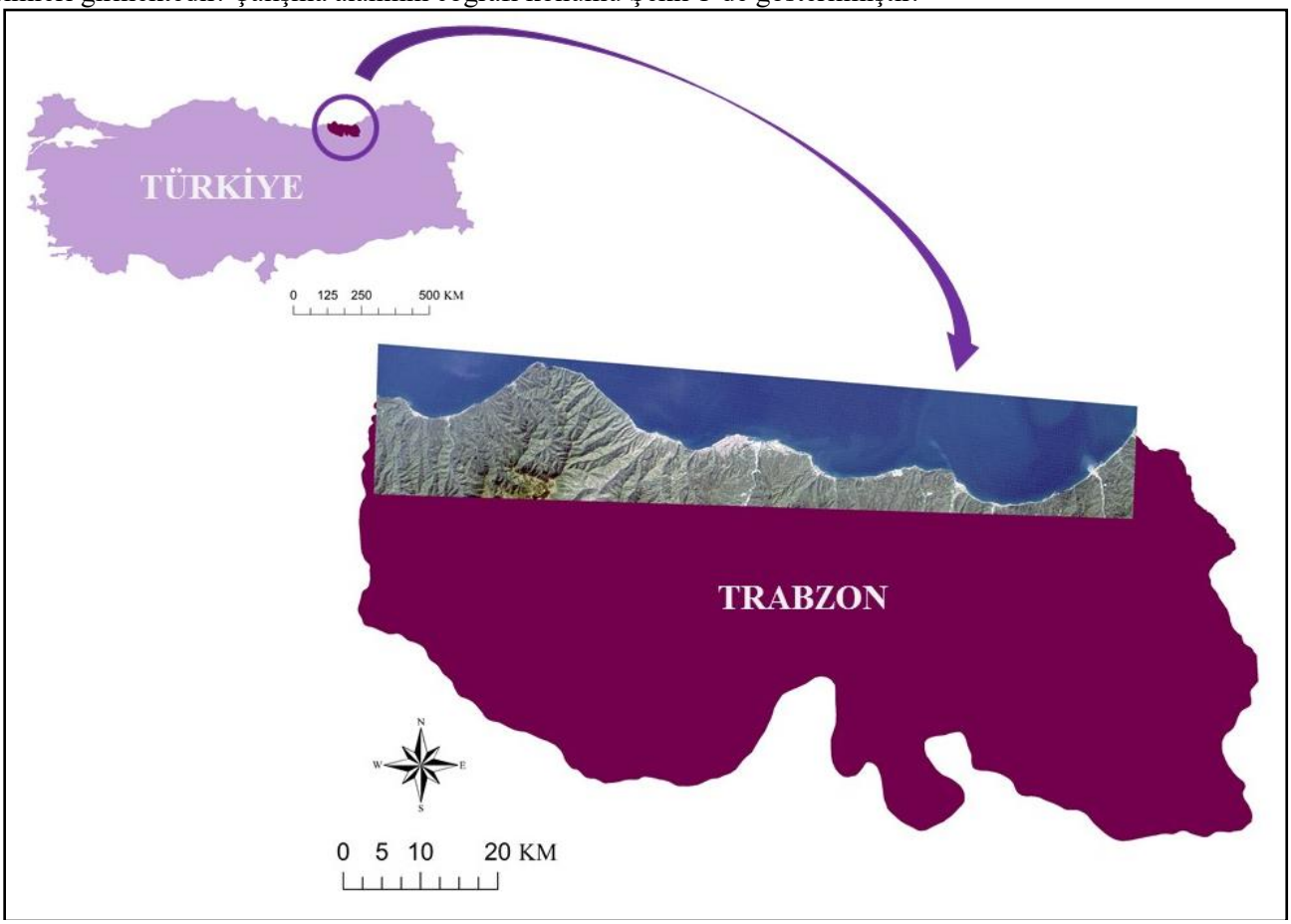
Arazi örtüsü ve kullanımın sınıflarının kapladıkları alanların belirlenmesi ile oluşturulan tematik haritalar planlama ve değerlendirme çalışmalarında temel oluşturmaktadır. Klasik yöntemlerle geniş alanlarda arazi örtüsü ve kullanımı bilgisinin çıkartılması zor ve zaman alıcıdır. Uydu görüntüleri sağladığı olanaklarla bu tür bilgilerin üretilmesi ve zamansal analizlerin yapılması için önemli bir kaynak olarak kullanılmaktadır. Literatürde arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının ve bu sınıflar arasında meydana gelen değişimlerin belirlenmesinde uydu görüntülerinden ve farklı sınıflandırma algoritmalarından yararlanan oldukça çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (Karakuş vd., 2017; Shivakumar ve Rajashekararadhya, 2017; Abdollahnejad, 2018; Ali vd., 2018; Alimjan vd., 2018; Cabral vd., 2018; Lekha ve Kumar, 2018; Lyons vd., 2018; Sun vd., 2019; Ha vd., 2020).

Bu çalışmada, Trabzon ili kıyı şeridinde belirlenen çalışma alanında arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının güncel durumu ve bu sınıflarda meydana gelen değişimler belirlenirken aynı zamanda farklı kontrollü sınıflandırma algoritmalarının kullanılması ve elde edilen sonuçların doğruluğunun karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla 1989, 2003 ve 2019 tarihli LANDSAT TM ve OLI görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler, kontrolsüz ve kontrollü sınıflandırma algoritmalarının uygun şekilde bir arada kullanıldığı hibrit sınıflandırma yöntemine göre sınıflandırılmıştır. Kontrollü sınıflandırma aşamasında, bu amaçla geliştirilmiş beş farklı algoritma kullanılmıştır. Uygu görüntüleri CORINE sınıflandırma sisteminin ilk seviyesine göre sınıflandırılmış ve çalışma bölgesinde dört farklı sınıf belirlenmiştir. Sınıflandırılmış tüm görüntülerin doğruluk kontrolü yapılmıştır. Çalışmanın devam eden aşamasında, belirlenen sınıfların kapladıkları alanların hangi yönde ve hangi miktarda değişim gösterdiğinin belirlenmesi için değişim analizi işlemi gerçekleştirilmiştir.

3. ÇALIŞMA ALANI

Trabzon, Karadeniz Bölgesi'nin Doğu Karadeniz Bölümü'nde yer almaktadır ve Karadeniz'e kıyısı bulunan önemli bir liman şehridir. Trabzon, 2012 yılından itibaren büyükşehir statüsündedir ve 2014 yılından itibaren büyükşehir belediyesi faaliyetlerine başlamıştır (Url-1). Bu durum özellikle kıyı kesimlerde yeni yerleşim alanlarının oluşmasıyla birlikte dinamik bir arazi örtüsü ve arazi kullanımı

değişiminin meydana gelmesine yol açmıştır (Çolak, 2018). Ayrıca, tamamlanan ve kullanıma açılan sahil yolu da kıyı bölgelere göçlere katkı sağlamıştır. Bölgenin topografik yapısı sebebiyle iç kesimlerin yerleşime uygun olmaması ve yerleşim alanlarının kıyı şeridinde yoğunlaşması sebebiyle arazi örtüsü ve kullanımı değişimleri en fazla oranla burada gerçekleşmektedir. Bu sebeple bu uygulamada çalışma alanı olarak Trabzon ili kıyı şeridini kapsayan bir bölge belirlenmiştir. Bu çalışma alanı içerisine, Beşikdüzü, Vakfıkebir, Çarşıbaşı, Akçaabat, Ortahisar, Yomra, Arsin, Araklı, Sürmene ve Of ilçelerinin kıyı kesimleri girmektedir. Çalışma alanının coğrafi konumu Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanının Türkiye'deki konumu

4. KULLANILAN VERİLER

Bölgenin iklim koşulları sebebiyle bulutsuz görüntü bulunması oldukça zordur. Çalışmada, tümü 30 m mekânsal çözünürlüklü 25 Haziran 1989 ve 6 Ekim 2003 tarihli LANDSAT TM görüntüleri ile 30 Temmuz 2019 tarihli LANDSAT 8 görüntüsü kullanılmıştır. Görüntüler ücretsiz olarak temin edilmiştir ve UTM WGS 84 koordinat sistemi ve datumundadır.

5. UYGULAMA VE BULGULAR

5.1 Sınıflandırma ve Doğruluk Analizi

Sınıflandırmada amaç, matematiksel yöntemler kullanarak görüntünün kategorize edilmesidir. Sınıflandırma işleminin gerçekleştirilmesinde, çalışmada kullanılacak dalga boyunun seçilmesi, yeteri doğruluk ve sayıda kontrol nokta ya da alanlarının belirlenmesi, amaca uygun sınıflandırma algoritmasının seçilmesi ile sınıflandırılmış görüntüler de doğruluk değerlendirmesinin yapılması önem taşımaktadır. Görüntülerin sınıflandırılmasında kullanılan birçok farklı yaklaşım, yöntem ve algoritma bulunmaktadır (Sarıyılmaz vd., 2015).

Bu çalışmada görüntüler piksel tabanlı sınıflandırma yaklaşımına göre sınıflandırılmıştır. Piksel tabanlı sınıflandırma işlemi kontrolsüz, kontrollü ve ikisinin uygun şekilde bir arada kullanıldığı hibrit sınıflandırma işlemi olmak üzere üç şekilde gerçekleştirilebilir. Kontrolsüz sınıflandırma işlemi sonucu oluşan sınıflara spektral sınıflar, kontrollü sınıflandırma işlemi sonucu oluşan sınıflara da bilgi sınıfları denir. Spektral sınıflar, kontrollü sınıflandırmanın öncül bilgisi olarak kullanılabilir. Bu çalışmada görüntüler ISODATA algoritması kullanılarak kontrolsüz olarak sınıflandırılmış ve bunun sonucunda elde edilen spektral sınıflar kontrollü sınıflandırma işlemi için öncül tematik veri olarak kullanılmıştır.

Kontrollü sınıflandırma işlemi sonucunda çalışma alanında CORINE sınıflandırma sisteminin ilk seviyesine ait dört adet sınıf belirlenmiştir. Bu sınıflar Orman ve Yarı Doğal Alanlar, Su Varlığı, Tarım Alanları ve Yapay Yüzeyler sınıflarıdır. Çalışmanın kontrollü sınıflandırma aşamasında beş farklı algoritma kullanılmış ve her görüntü için beşer ve toplamda da 15 adet tematik harita üretilmiştir. Bu algoritmalar, maximum likelihood, minimum distance, mahalanobis distance, spectral angle mapper ve spectral correlation mapper algoritmalarıdır.

Sınıflandırma işlemi ile üretilen tematik haritanın güvenirliğinin belirlenmesi için, her bir sınıfın doğruluğunun analiz edilmesi gereklidir. Tematik doğruluk belirli bir zamanda haritası üretilen arazi örtüsü ve kullanımının yer gerçeğini tanımlama başarısını ifade eder. Tematik haritaların doğruluk değerlendirmesi yapılırken kullanılan en yaygın yöntem hata matrislerinin analiz edilmesidir (Congalton ve Green, 2008; Kumar, 2012; Sarıyılmaz, 2017).

Hata matrisi, satır ve sütunlardan oluşmaktadır ve her bir sınıf için, seçilen örnek sayısı ve yer doğruluklu referans verideki karşılığını gösterir. Matrisin sütunları referans veriyi (gerçek arazi örtüsü), satırları ise sınıflandırma sonucunda tanımlanmış arazi örtüsü sınıf karşılığını ifade eder. Matrisin köşe elemanları sınıflar için sınıflandırma ve referans verinin uyuştuğu örnek sayısını vermektedir. Hata matrisi, iki farklı tematik haritayı niceliksel olarak karşılaştırmanın en etkin yoludur. Hata matrisi kullanılarak ilgili görüntü için genel doğruluk ve kappa istatistik değeri, görüntüde yer alan sınıflar için üretici ve kullanıcı doğrulukları ile kappa istatistik değeri bilgileri hesaplanabilir. Genel doğruluk, hata matrisinde yer alan doğru olarak sınıflandırılmış pikseller toplamının, test verisini oluşturan toplam piksel sayısına oranlanması ile elde edilir. Hata matrisindeki diğer pikseller ise her sınıfa ait hata miktarlarını göstermektedir. Hata matrisinde yer alan her bir sınıfa yönelik doğruluk oranları üretici ve kullanıcı doğruluğu değerleri ile açıklanmaktadır (Sunar vd., 2019). Üretici doğruluğu, kullanılan sınıflandırma yönteminin başarısını ölçerken, kullanıcı doğruluğu, üretilen tematik haritaya ait güvenin bir ifadesidir (Lillesand ve Kiefer, 2004 ve Jensen, 2005). Kappa istatistik değeri hata matrisi ile hesaplanabilen bir başka doğruluk ölçütüdür. Genel doğruluk değeri ile yakından ilişkilidir ve bu değerin şans faktörüne bağlı olup olmadığını ortaya koyan istatistiksel bir ölçüttür. Kappa istatistik değeri, 0 ile 1 arasında değerler alır. Sıfıra yakın değerler düşük doğruluğu, bire yakın değerler ise yüksek doğruluğu göstermektedir (Sunar vd., 2019). Çalışmada, her bir görüntü için kappa istatistik değeri ve genel doğruluk, her bir sınıf için üretici ve kullanıcı doğrulukları ile yine kappa istatistik değeri oluşturulan hata matrisi ile hesaplanmış ve bu işlem için test verisi olarak kullanılacak olan rastgele nokta sayısı binomial örnekleme yöntemi ile belirlenmiştir. Bu şekilde hesaplanan toplam rastgele nokta sayısı 323'tür. Bu sayı, sınıfların görüntü üzerinde kapladıkları alanlar oranında dağıtılmıştır. Ancak, en düşük rastgele nokta sayısı 30 olarak kabul edilmiş ve bu değerin altında kalan değerler yükseltilmiştir. Binomial örnekleme yöntemine göre rastgele nokta sayısının hesaplanmasında;

$$N=(Z^2pq)/E^2 \quad (1)$$

eşitliği kullanılmıştır (Van Genderen, ve Lock, 1977; Fitzpatrick – Lins, 1981).

Bu eşitlikte;

N = Örnek sayısı

p = Beklenen doğruluk

q = 100 – p

E = Hesaba katılabilir hata

Z = % 95 güven aralığı için standart normal sapma (1.96)

olarak tanımlanır (Sarıyılmaz vd., 2015).

Tablo 1 sınıflandırılmış tüm görüntülerin doğruluk analizi ile elde edilen kappa istatistik değerleri ve genel doğruluk değerlerini içermektedir. Buna göre tüm görüntüler yaklaşık %89'un üzerinde genel doğruluk ve 0.8400'ün üzerinde kappa değerine sahiptir ve tüm görüntüler kabul edilebilir doğruluk sınırları içerisindedir. Doğruluk analizine ilişkin tüm sonuçlar incelendiğinde genel doğruluk ve kappa istatistik değerlerinin birbirlerine yakın olduğu görülmektedir, ancak tüm görüntüler içerisinde en yüksek genel doğruluk değeri %94.84 ile spectral angle mapper algoritması ile sınıflandırılan 1989 tarihli görüntüye ve en düşük genel doğruluk değeri %89.88 ile spectral correlation mapper algoritması ile sınıflandırılan 2019 tarihli görüntüye aittir.

Tablo 1. Doğruluk Analizi Sonuçları

	1989	2003	2019

Algoritma Adı	Kappa İstatistik Değeri	Genel Doğruluk	Kappa İstatistik Değeri	Genel Doğruluk	Kappa İstatistik Değeri	Genel Doğruluk
Maximum Likelihood	0.9060	%93.70	0.8825	%92.13	0.8850	% 92.31
Minimum Distance	0.9232	%94.83	0.8610	%90.67	0.9207	%94.69
Mahalanobis Distance	0.9184	%94.54	0.9079	%93.84	0.8893	%92.58
Spectral Angle Mapper	0.9232	%94.84	0.8696	%91.25	0.8985	%93.20
Spectral Correlation Mapper	0.9106	%94.00	0,8694	%91.25	0.8485	%89.88

Tablo 2 1989 tarihli, Tablo 3 2003 tarihli ve Tablo 4 2019 tarihli sınıflandırılmış görüntülerdeki her bir sınıfın kappa istatistik değeri (KİD), üretici doğruluğu (ÜD) ve kullanıcı doğruluğu (KD) değerlerini göstermektedir.

Tablo 2 incelendiğinde su varlığı tematik sınıfı için tüm görüntülerde üretici ve kullanıcı doğruluklarının %99'un üzerinde olduğu görülmektedir. Orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfı için üretici doğruluğunun en yüksek değeri %91.04 oranıyla spectral angle mapper algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %85.14 oranıyla maximum likelihood algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Yine orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfı için kullanıcı doğruluğunun en yüksek değeri %88.73 oranıyla maximum likelihood ve mahalanobis distance algoritmalarıyla üretilen görüntülerde ve en düşük değeri %84.93 oranıyla spectral correlation mapper algoritmasıyla üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Tarım alanları tematik sınıfı için üretici doğruluğunun en yüksek değeri %88.24 oranıyla minimum distance algoritmasıyla üretilen görüntüde ve en düşük değeri %86.36 oranıyla spectral correlation mapper algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Yine tarım alanları tematik sınıfı için kullanıcı doğruluğunun en yüksek değeri %92.86 oranıyla spectral angle mapper algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %86.90 ile maximum likelihood algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Yapay yüzeyler tematik sınıfı için üretici doğruluğu tüm görüntüler için %100.00 olarak hesaplanmıştır. Yine yapay yüzeyler tematik sınıfı için kullanıcı doğruluğunun en yüksek değeri %100.00 oranıyla minimum distance algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %86.67 oranıyla mahalanobis distance algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır.

Tablo 2. 1989 Tarihli görüntü sınıflarına ait üretici ve kullanıcı doğrulukları

Algoritma Adı	Su Varlığı		Orman ve YDA			Tarım Alanları			Yapay Yüzeyler		
	KİD	ÜD	KD	KİD	ÜD	KD	KİD	ÜD	KD	KİD	ÜD	KD
Maximum Likelihood	1.0000	%99.39	%100.00	0.8570	%85.14	%88.73	0.8282	%87.95	%86.90	0.8916	%100.00	%90.00
Minimum Distance	1.0000	%100.00	%100.00	0.8261	%88.57	%86.11	0.8725	%88.24	%90.36	1.0000	%100.00	%100.00
Mahalanobis Distance	1.0000	%99.39	%100.00	0.8590	%90.00	%88.73	0.8876	%87.36	%91.57	0.8559	%100.00	%86.67
Spectral Angle Mapper	1.0000	%100.00	%100.00	0.8257	%91.04	%85.92	0.9038	%86.67	%92.86	0.9275	%100.00	%93.33

Spectral Correlation Mapper	1.0000	% 99.39	% 100.00	0.8123	% 89.86	% 84.93	0.8873	% 86.36	% 91.57	0.8913	% 96.43	% 90.00

Tablo 3 incelendiğinde tüm görüntülerde su varlığı tematik sınıfı için üretici ve kullanıcı doğruluklarının %100.00 olarak hesaplandığı görülmektedir. Orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfı için üretici doğruluğunun en yüksek değeri %89.86 oranıyla spectral angle mapper algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %83.56 oranıyla minimum distance algoritması ile üretilen görüntüde elde edilmiştir. Yine orman ve yarı doğal alanlar sınıfı için kullanıcı doğruluğunun en yüksek değeri %89.74 oranıyla mahalanobis distance algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %77.22 oranıyla minimum distance algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Tarım alanları tematik sınıfı için üretici doğruluğunun en yüksek değeri %85.71 oranıyla mahalanobis distance algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %74.71 oranıyla spectral angle mapper algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Yine tarım alanları tematik sınıfı için kullanıcı doğruluğunun en yüksek değeri %89.86 oranıyla spectral angle mapper algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %84.51 oranıyla minimum distance algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Yapay yüzeyler tematik sınıfı için üretici doğruluğunun en yüksek değeri %96.43 oranıyla mahalanobis distance algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %87.10 oranıyla minimum distance algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Yine yapay yüzeyler tematik sınıfı için kullanıcı doğruluğunun en yüksek değeri %90.00 oranıyla minimum distance ve mahalanobis distance algoritmaları ile üretilen görüntülerde ve en düşük değeri %83.33 oranıyla maximum likelihood ve spectral correlation mapper algoritmaları ile üretilen görüntülerde hesaplanmıştır.

Tablo 3. 2003 Tarihli görüntü sınıflarına ait üretici ve kullanıcı doğrulukları

Algoritma Adı	Su Varlığı			Orman ve YDA			Tarım Alanları			Yapay Yüzeyler		
	KİD	ÜD	KD	KİD	ÜD	KD	KİD	ÜD	KD	KİD	ÜD	KD
Maximum Likelihood	1.0000	% 100.00	% 100.00	0.8154	% 87.84	% 85.53	0.8069	% 79.75	% 85.14	0.8191	% 92.59	% 83.33
Minimum Distance	1.0000	% 100.00	% 100.00	0.7105	% 83.56	% 77.22	0.8010	% 78.95	% 84.51	0.8901	% 87.10	% 90.00
Mahalanobis Distance	1.0000	% 100.00	% 100.00	0.8660	% 87.50	% 89.74	0.8202	% 85.71	% 85.71	0.8911	% 96.43	% 90.00
Spectral Angle Mapper	1.0000	% 100.00	% 100.00	0.7064	% 89.86	% 76.54	0.8662	% 74.70	% 89.86	0.8548	% 92.86	% 86.67
Spectral Correlation Mapper	1.0000	% 100.00	% 100.00	0.7462	% 85.53	% 80.25	0.8312	% 76.92	% 86.96	0.8197	% 96.15	% 83.33

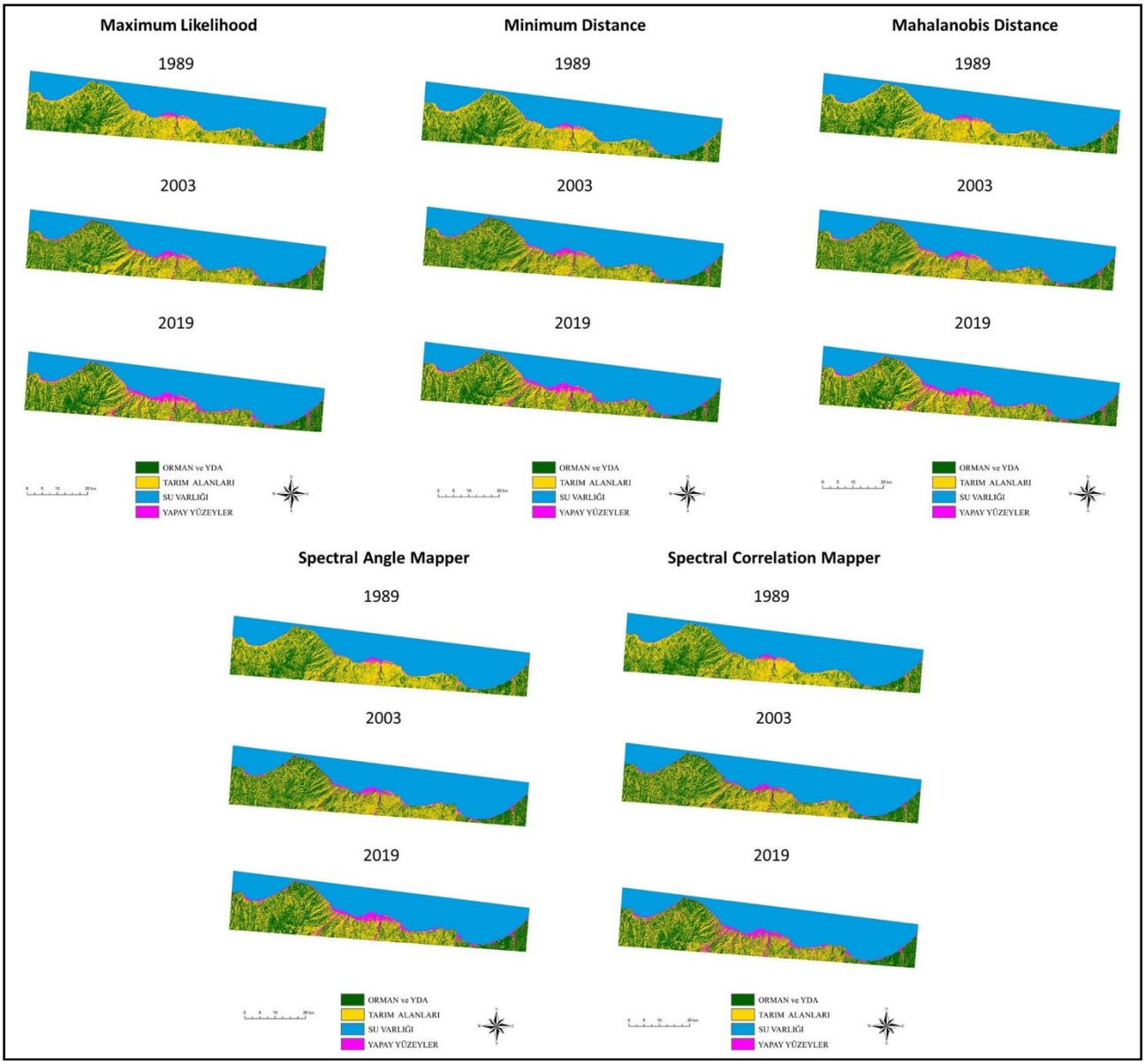
Tablo 4. 2019 Tarihli görüntü sınıflarına ait üretici ve kullanıcı doğrulukları

Algoritma Adı	Su Varlığı			Orman ve YDA			Tarım Alanları			Yapay Yüzeyler		
	KİD	ÜD	KD	KİD	ÜD	KD	KİD	ÜD	KD	KİD	ÜD	KD

Maximum Likelihood	1.0000	%100.00	%100.00	0.7751	%88.00	%82.50	0.7898	%78.57	%83.33	0.9633	%93.55	%96.67
Minimum Distance	1.0000	%100.00	%100.00	0.8691	%90.00	%90.00	0.8332	%87.88	%86.57	0.9633	%93.55	%96.67
Mahalanobis Distance	1.0000	%100.00	%100.00	0.7670	%91.04	%81.33	0.8169	%81.08	%85.71	0.9629	%85.29	%96.67
Spectral Angle Mapper	1.0000	%100.00	%100.00	0.8361	%89.61	%87.34	0.7783	%84.62	%82.09	0.9631	%87.88	%96.67
Spectral Correlation Mapper	1.0000	%100.00	%100.00	0.7727	%87.84	%82.28	0.7290	%73.91	%78.46	0.7797	%77.42	%80.00

Tablo 4 incelendiğinde tüm görüntülerde su varlığı tematik sınıfı için üretici ve kullanıcı doğruluklarının %100.00 olarak hesaplandığı görülmektedir. Orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfı için üretici doğruluğunun en yüksek değeri %91.04 oranıyla mahalanobis distance algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %87.84 oranıyla spectral correlation mapper algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Yine orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfı için kullanıcı doğruluğunun en yüksek değeri %90.00 oranıyla minimum distance algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %81.33 oranıyla mahalanobis distance algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Tarım alanları tematik sınıfı için üretici doğruluğunun en yüksek değeri %87.88 oranıyla minimum distance algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %73.91 oranıyla spectral correlation mapper algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Yine tarım alanları tematik sınıfı için kullanıcı doğruluğunun en yüksek değeri %86.57 oranıyla minimum distance algoritması ile üretilen görüntüde ve en düşük değeri %78.46 oranı ile spectral correlation mapper algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Yapay yüzeyler sınıfı için üretici doğruluğunun en yüksek değeri %93.55 oranıyla maximum likelihood ve minimum distance algoritmalarıyla üretilen görüntülerde ve en düşük değeri %77.42 oranıyla spectral correlation mapper algoritması ile üretilen görüntüde hesaplanmıştır. Yine yapay yüzeyler tematik sınıfı için kullanıcı doğruluğunun en yüksek değeri tablodaki ilk dört algoritma ile üretilen görüntüler için %96.67 olarak hesaplanırken, en düşük değeri %80.00 oranıyla spectral correlation mapper algoritması ile üretilen görüntü için hesaplanmıştır.

Doğruluk değerlendirmesinin ardından beş farklı algoritma ile üretilen görüntüler kullanılarak tematik haritalar oluşturulmuş ve arazi örtüsü ve kullanımı sınıflarının oransal dağılımı incelenmiştir. Şekil 2 tüm algoritmalar ile üretilen görüntüleri bir arada vermektedir. Aynı tarihli tüm görüntülere kontrollü sınıflandırma işlemi yapılırken tüm algoritmalar için kontrolsüz sınıflandırma işlemi ile elde edilen aynı spektral sınıflardan elde edilen aynı eğitim veri seti kullanılmıştır.



Şekil 2. Sınıflandırma sonuçları

5.1.1 Maximum Likelihood

Maximum likelihood algoritması, bir pikselin belirli bir sınıfa ait olma olasılığını temel alır. Temel denklem, bu olasılıkların tüm sınıflar için eşit olduğunu ve giriş bantlarının histogramlarının normal dağılımlara sahip olduğunu varsayar. Durum böyle değilse, Parallelpiped veya Minimum Distance algoritmaları kullanılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir (ERDAS Field Guide, 2013).

Tablo 5, maximum likelihood algoritmasına göre üretilen görüntülerde arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının kapladıkları alanları hektar ve yüzde dağılımı cinsinden göstermektedir.

Tablo 5 incelendiğinde su varlığı tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %50.66'sını, 2003 tarihli görüntünün %50.58'ini ve 2019 tarihli görüntünün de %50.27'sini kapladığı görülmektedir. Buna göre su varlığı tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak azalmıştır. Orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfının 1989 tarihli görüntünün %22.07'sini, 2003 tarihli görüntünün %23.46'sını ve 2019 tarihli görüntünün de %24.70'ini kapladığı görülmektedir. Buna göre orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak artmıştır. Tarım alanları tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %25.88'ini, 2003 tarihli görüntünün %22.80'ini ve 2019 tarihli görüntünün de %20.50'sini kapladığı görülmektedir. Buna göre tarım alanları tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak azalmıştır. Yapay yüzeyler tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %1.39'unu, 2003 tarihli görüntünün %3.16'sını ve 2019 tarihli

görüntünün de %4.53'ünü kapladığı görülmektedir. Buna göre yapay yüzeyler tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak artmıştır.

Tablo 5. Maximum likelihood algoritması ile üretilen görüntüde sınıfların kapladıkları alanlar

	1989		2003		2019	
	%	ha	%	ha	%	ha
Su Varlığı	50.66	84921.30	50.58	84789.60	50.27	84272.60
Orman ve YDA	22.07	36991.80	23.46	39325.10	24.70	41409.40
Tarım Alanları	25.88	43382.30	22.80	38222.80	20.50	34372.60
Yapay Yüzeyler	1.39	2340.09	3.16	5297.94	4.53	7580.97
Toplam	100	167635.49	100	167635.44	100	167635.57

5.1.2 Minimum Distance

Minimum Distance algoritması (spektral mesafe algoritması olarak da adlandırılır), aday piksel için ölçme vektörü ile her spektral imza için ortalama vektör arasındaki spektral mesafeyi hesaplar (ERDAS Field Guide, 2013).

Tablo 6, minimum distance algoritmasına göre üretilen görüntülerde arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının kapladıkları alanları hektar ve yüzde dağılımı cinsinden göstermektedir.

Tablo 6 incelendiğinde, su varlığı tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %50.67'sini, 2003 tarihli görüntünün %50.57'sini ve 2019 tarihli görüntünün de %50.28'ini kapladığı görülmektedir. Buna göre su varlığı tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak azalmıştır. Orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %22.27'sini, 2003 tarihli görüntünün %24.48'ini ve 2019 tarihli görüntünün de %24.66'sını kapladığı görülmektedir. Buna göre orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak artmıştır. Tarım alanları tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %25.73'ünü, 2003 tarihli görüntünün %21.93'ünü ve 2019 tarihli görüntünün de %20.67'sini kapladığı görülmektedir. Buna göre tarım alanları tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak azalmıştır. Yapay yüzeyler tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %1.33'ünü, 2003 tarihli görüntünün %3.02'sini kapladığı ve 2019 tarihli görüntünün de %4.39'unu kapladığı görülmektedir. Buna göre yapay yüzeyler tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak artmıştır.

Tablo 6. Minimum distance algoritması ile üretilen görüntüde sınıfların kapladıkları alanlar

	1989		2003		2019	
	%	ha	%	ha	%	ha
Su Varlığı	50.67	84943.80	50.57	84778.00	50.28	84291.50
Orman ve YDA	22.27	37337.90	24.48	41030.80	24.66	41342.80
Tarım Alanları	25.73	43137.70	21.93	36756.40	20.67	35647.20
Yapay Yüzeyler	1.33	2216.07	3.02	5070.33	4.39	7353.99
Toplam	100	167635.47	100	167635.53	100	167635.49

5.1.3. Mahalanobis Distance

Mahalanobis distance algoritması denklemde kovaryans matrisinin kullanılması dışında minimum distance algoritmasına benzer. Bu algoritma da bantların histogramlarının normal dağılıma sahip olduğunu varsayar (ERDAS Field Guide, 2013).

Tablo 7, mahalanobis distance algoritmasına göre üretilen görüntülerde arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının kapladıkları alanları hektar ve yüzde dağılımı cinsinden göstermektedir.

Tablo 7 incelendiğinde, su varlığı tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %50.63'ünü, 2003 tarihli görüntünün %50.56'sını ve 2019 tarihli görüntünün de %50.25'ini kapladığı görülmektedir. Buna göre su varlığı tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak azalmıştır. Orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %22.13'ünü, 2003 tarihli görüntünün %24.23'ünü ve 2019 tarihli görüntünün de %23.34'ünü kapladığı görülmektedir. Buna göre orman ve

yarı doğal alanlar sınıfı 1989 yılında en küçük halini alırken, 2003 yılında ise en büyük halini almıştır. Tarım alanları tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %25.70'ini, 2003 tarihli görüntünün %21.76'sını ve 2019 tarihli görüntünün de %21.59'unu kapladığı görülmektedir. Buna göre tarım alanları tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak azalmıştır. Yapay yüzeyler tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %1.54'ünü, 2003 tarihli görüntünün %3.45'ini ve 2019 tarihli görüntünün de %4.82'sini kapladığı görülmektedir. Buna göre yapay yüzeyler tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak artmıştır.

Tablo 7. Mahalanobis distance algoritması ile üretilen görüntüde sınıfların kapladıkları alanlar

	1989		2003		2019	
	%	ha	%	ha	%	ha
Su Varlığı	50.63	84872.60	50.56	84765.80	50.25	84231.90
Orman ve YDA	22.13	37095.80	24.23	40614.20	23.34	39119.90
Tarım Alanları	25.70	43092.20	21.76	36471.50	21.59	36196.80
Yapay Yüzeyler	1.54	2574.99	3.45	5784.03	4.82	8086.86
Toplam	100	167635.59	100	167635.53	100	167635.46

5.1.4 Spectral Angle Mapper

Spectral Angle Mapper algoritması, bir referans spektrumu ile her pikselin görüntü spektrumu arasında oluşan açıyı türetir. Spektral açı, iki spektrumun spektral benzerliğinin hızlı bir şekilde karşılaştırılmasına izin veren bir hesaplamadır. Her spektrum, N'nin görüntüdeki bant sayısına eşit olduğu N boyutlu uzayda bir vektör olarak ele alınır. Kontrollü sınıflandırmada, referans spektrumu her bir spektral imza için ortalama vektördür (ERDAS Field Guide, 2013).

Tablo 8, spectral angle mapper algoritmasına göre üretilen görüntülerde arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının kapladıkları alanları hektar ve yüzde dağılımı cinsinden göstermektedir.

Tablo 8 incelendiğinde, su varlığı tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %50.66'sını, 2003 tarihli görüntünün %50.57'sini ve 2019 tarihli görüntünün de %50.27'sini kapladığı görülmektedir. Buna göre su varlığı tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak azalmıştır. Orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %21.90'ını, 2003 tarihli görüntünün %25.03'ünü ve 2019 tarihli görüntünün de %24.37'sini kapladığı görülmektedir. Buna göre orman ve yarı doğal alanlar sınıfı 1989 yılında en küçük halini alırken, 2003 yılında ise en büyük halini almıştır. Tarım alanları tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %26.10'unu, 2003 tarihli görüntünün %21.36'sını ve 2019 tarihli görüntünün de %20.84'ünü kapladığı görülmektedir. Buna göre tarım alanları tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak azalmıştır. Yapay yüzeyler tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %1.31'ini, 2003 tarihli görüntünün %3.04'ünü ve 2019 tarihli görüntünün de %4.52'sini kapladığı görülmektedir. Buna göre yapay yüzeyler tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak artmıştır.

Tablo 8. Spectral angle mapper algoritması ile üretilen görüntüde sınıfların kapladıkları alanlar

	1989		2003		2019	
	%	ha	%	ha	%	ha
Su Varlığı	50.66	84931.20	50.57	84774.40	50.27	84267.40
Orman ve YDA	21.90	36715.00	25.03	41952.20	24.37	40880.80
Tarım Alanları	26.10	43754.70	21.36	35812.20	20.84	34920.20
Yapay Yüzeyler	1.31	2234.61	3.04	5096.70	4.52	7567.20
Toplam	100	167635.51	100	167635.50	100	167635.60

5.1.5 Spectral Correlation Mapper

Bu algoritma, her bir spektrumun, spektrum ortalaması ile normalleştirildiği, değiştirilmiş bir Spectral Angle Mapper yaklaşımıdır. Kontrollü sınıflandırma işlemi ile oluşturulabilen çıktı mesafe dosyası

görüntüsünde, sonuçlar iki spektral eğrinin açılarının toplamı olarak gösterilir (ERDAS Field Guide, 2013).

Tablo 9, spectral correlation mapper algoritmasına göre üretilen görüntülerde arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının kapladıkları alanları hektar ve yüzde dağılımı cinsinden göstermektedir.

Tablo 9 incelendiğinde, su varlığı tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %50.67'sini, 2003 tarihli görüntünün %50.49'unu ve 2019 tarihli görüntünün de %50.29'unu kapladığı görülmektedir. Buna göre su varlığı tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak azalmıştır. Orman ve yarı doğal alanlar tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %22.46'sını, 2003 tarihli görüntünün %24.98'ini ve 2019 tarihli görüntünün de %24.37'sini kapladığı görülmektedir. Buna göre orman ve yarı doğal alanlar sınıfı 1989 yılında en küçük halini alırken, 2003 yılında ise en büyük halini almıştır. Tarım alanları tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %25.54'ünü, 2003 tarihli görüntünün %21.47'sini ve 2019 tarihli görüntünün de %20.20'sini kapladığı görülmektedir. Buna göre tarım alanları tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak azalmıştır. Yapay yüzeyler tematik sınıfının, 1989 tarihli görüntünün %1.33'ünü, 2003 tarihli görüntünün %2.97'sini ve 2019 tarihli görüntünün de %5.14'ünü kapladığı görülmektedir. Buna göre yapay yüzeyler tematik sınıfı 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede doğrusal olarak artmıştır.

Tablo 9. Spectral correlation mapper algoritması ile üretilen görüntüde sınıfların kapladıkları alanlar

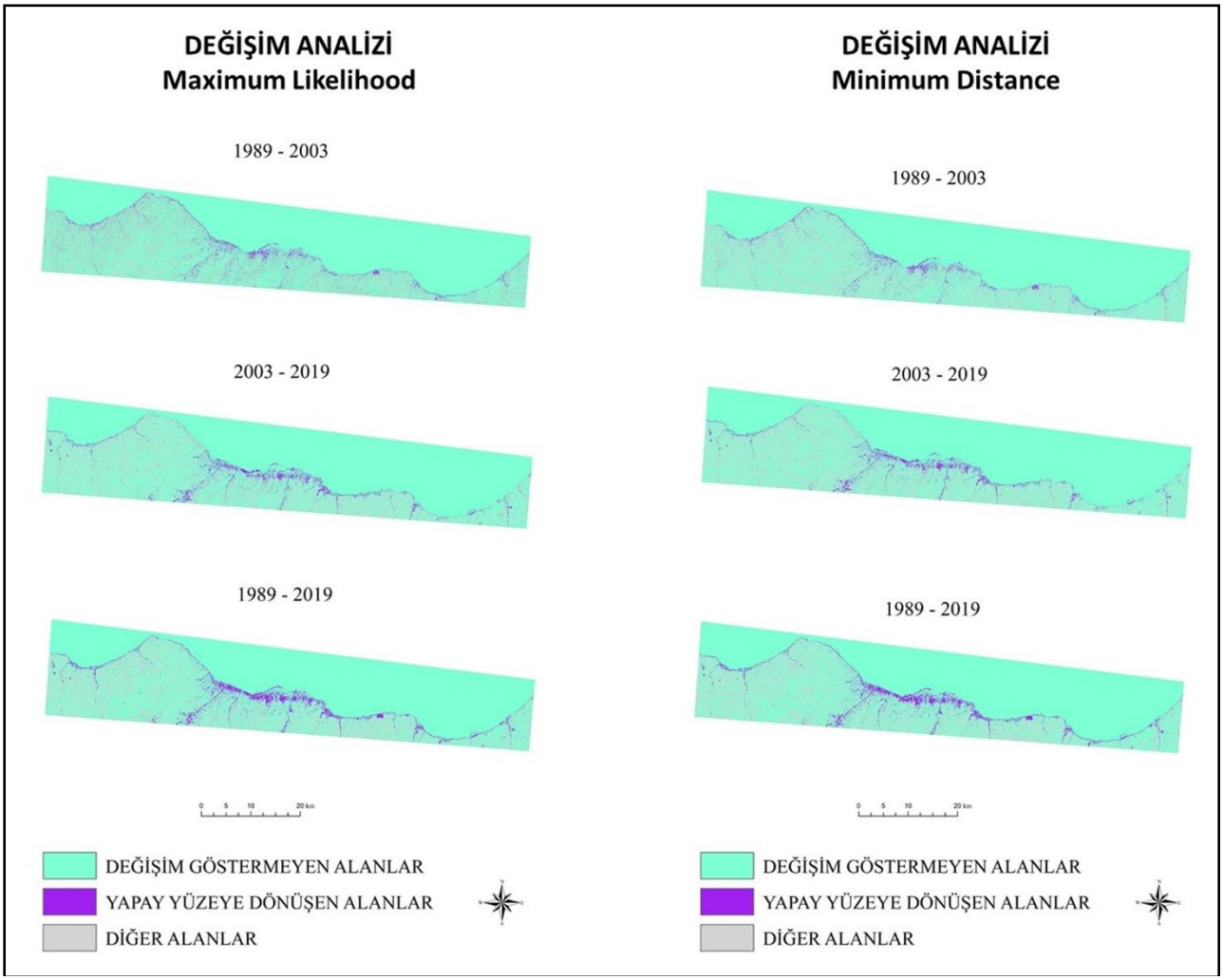
	1989		2003		2019	
	%	ha	%	ha	%	ha
Su Varlığı	50.67	84945.20	50.49	84797.10	50.29	84311.80
Orman ve YDA	22.46	37651.70	24.98	41871.80	24.37	40858.10
Tarım Alanları	25.54	42814.70	21.47	35989.40	20.20	33855.40
Yapay Yüzeyler	1.33	2223.90	2.97	4977.27	5.14	8610.21
Toplam	100	167635.50	100	167635.57	100	167635.51

5.2 Değişim Analizi

Bu çalışmada değişim analizi işlemi, çalışma alanı sınırları içerisinde belirlenen sınıfların geçirdiği değişim sürecini ortaya koymak ve bu sınıflar arasında meydana gelen tematik değişim hakkında istatistik veri üretmek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanı sınırları içerisinde belirlenen söz konusu bu dört sınıfın nasıl değişim gösterdiğinin belirlenmesi için görüntü matrisleri birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu işlem ile hiç değişim göstermeyen alanların miktarı ve hangi sınıfın hangi sınıfa, hangi miktarda değiştiği bilgilerine ulaşılmıştır. Değişim analizi işlemi, literatürde en fazla karşılaşılan iki algoritma olan maximum likleihood ve minimum distance algoritmaları ile üretilen görüntülere uygulanmıştır. Şekil 3 değişim analizi sonuçlarını göstermektedir.

Değişim analizi sonuçları sayısal olarak da incelenmiştir. Buna göre, Tablo 10, Tablo 11 ve Tablo 12 maximum likelihood algoritmasına göre üretilen görüntüler ile yapılan ve Tablo 13, Tablo 14 ve Tablo 15 de minimum distance algoritmasına göre üretilen görüntüler ile yapılan değişim analizi işlemi sonucunda meydana çıkan, sınıflar arası değişimin yönünü ve miktarını sayısal olarak ifade etmektedir.



Şekil 3. Değişim analizi sonuçları

Tablo 10. 1989 ve 2003 yılları değişim analizi sonuçları – maximum likelihood

SINIF NO		DEĞİŞİM ANALİZİ SONUÇLARI	
1989	2003	ha	%
ORMAN ve YARI DOĞAL ALANLAR (1)			
1	1	25646.20	69.33
1	2	6.66	0.02
1	3	10917.40	29.51
1	4	421.56	1.14
SU VARLIĞI (2)			
2	1	4.95	0.01
2	2	84652.90	99.68
2	3	13.59	0.02
2	4	249.84	0.29
TARIM ALANLARI (3)			
3	1	13601.00	31.35
3	2	7.65	0.02
3	3	26872.00	61.94
3	4	2901.69	6.69
YAPAY YÜZEYLER (4)			
4	1	72.99	3.12
4	2	122.4	5.23
4	3	419.85	17.94

4	4	1724.85	73.71

Tablo 10'a göre, 1989 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %69.33'ü, su varlığı olan bölgelerin %99.68'i, tarım alanı olan bölgelerin %61.94'ü ve yapay yüzey olan bölgelerin de %73.71'i 2003 yılında da yine aynı kalmıştır. Bunun yanında, 1989 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %1.14'ü, su varlığı olan bölgelerin %0.29'u ve tarım alanı olan bölgelerin %6.69'u 2003 yılında yapay yüzeylere dönüşmüştür.

Tablo 11. 1989 ve 2019 yılları değişim analizi sonuçları – maximum likelihood

SINIF NO		DEĞİŞİM SONUÇLARI	ANALİZİ
1989	2019	ha	%
ORMAN ve YARI DOĞAL ALANLAR (1)			
1	1	26464.00	71.54
1	2	2.97	0.01
1	3	9761.31	26.39
1	4	763.56	2.06
SU VARLIĞI (2)			
2	1	2.61	0.01
2	2	84199.30	99.14
2	3	56.52	0.07
2	4	662.85	0.78
TARIM ALANLARI (3)			
3	1	14866.3	34.27
3	2	3.06	0.01
3	3	24356.9	56.14
3	4	4156.11	9.58
YAPAY YÜZEYLER (4)			
4	1	76.5	3.27
4	2	67.23	2.87
4	3	197.91	8.46
4	4	1998.45	85.40

Tablo 11'e göre, 1989 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %71.54'ü, su varlığı olan bölgelerin %99.14'ü, tarım alanı olan bölgelerin %56.14'ü ve yapay yüzey olan bölgelerin de %85.40'ı 2003 yılında da yine aynı kalmıştır. Bunun yanında, 1989 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %2.06'sı, su varlığı olan bölgelerin %0.78'i ve tarım alanı olan bölgelerin %69.58'i 2019 yılında yapay yüzeylere dönüşmüştür.

Tablo 12. 2003 ve 2019 yılları değişim analizi sonuçları – maximum likelihood

SINIF NO		DEĞİŞİM SONUÇLARI	ANALİZİ
2003	2019	ha	%
ORMAN ve YARI DOĞAL ALANLAR (1)			
1	1	28444.50	72.33
1	2	3.78	0.01
1	3	9839.16	25.02
1	4	1037.70	2.64
SU VARLIĞI (2)			
2	1	7.11	0.01
2	2	84244.00	99.36
2	3	40.50	0.05
2	4	498.06	0.58
TARIM ALANLARI (3)			
3	1	12582.40	32.92
3	2	2.61	0.01
3	3	23066.40	60.35
3	4	2571.48	6.73

YAPAY YÜZEYLER (4)			
4	1	375.39	7.08
4	2	22.23	0.42
4	3	1426.59	26.93
4	4	3473.73	65.57

Tablo 12'ye göre, 2003 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %72.33'ü, su varlığı olan bölgelerin %99.36'sı, tarım alanı olan bölgelerin %60.35'i ve yapay yüzey olan bölgelerin de %65.57'si 2019 yılında da yine aynı kalmıştır. Bunun yanında, 2003 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %2.64'ü, su varlığı olan bölgelerin %0.58'i ve tarım alanı olan bölgelerin %6.73'ü, 2019 yılında yapay yüzeylere dönüşmüştür.

Tablo 13. 1989 ve 2003 yılları değişim analizi sonuçları – minimum distance

SINIF NO		DEĞİŞİM SONUÇLARI	ANALİZİ
1989	2003	ha	%
ORMAN ve YARI DOĞAL ALANLAR (1)			
1	1	26004.00	69.64
1	2	4.32	0.01
1	3	10919.9	29.25
1	4	409.77	1.10
SU VARLIĞI (2)			
2	1	7.74	0.01
2	2	84662.10	99.66
2	3	14.13	0.02
2	4	259.83	0.31
TARIM ALANLARI (3)			
3	1	14944.9	34.64
3	2	5.4	0.01
3	3	25444.3	58.98
3	4	2743.11	6.37
YAPAY YÜZEYLER (4)			
4	1	74.16	3.35
4	2	106.20	4.79
4	3	378.09	17.06
4	4	1657.62	74.80

Tablo 13'e göre, 1989 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %69.64'ü, su varlığı olan bölgelerin %99.66'sı, tarım alanı olan bölgelerin %58.98'i ve yapay yüzey olan bölgelerin de %74.80'i 2003 yılında da yine aynı kalmıştır. Bunun yanında, 1989 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %1.10'u, su varlığı olan bölgelerin %0,31'i ve tarım alanı olan bölgelerin de %%6.37'si 2003 yılında yapay yüzeylere dönüşmüştür.

Tablo 14. 1989 ve 2019 yılları değişim analizi sonuçları – minimum distance

SINIF NO		DEĞİŞİM SONUÇLARI	ANALİZİ
1989	2019	ha	%
ORMAN ve YARI DOĞAL ALANLAR (1)			
1	1	26421.80	70.76
1	2	3.42	0.01
1	3	10159.80	27.21
1	4	752.94	2.02
SU VARLIĞI (2)			
2	1	3.87	0.01
2	2	84224.30	99.15
2	3	58.05	0.07
2	4	657.54	0.77
TARIM ALANLARI (3)			

3	1	14853.80	34.43
3	2	3.87	0.01
3	3	24256.2	56.23
3	4	4023.90	9.33
YAPAY YÜZEYLER (4)			
4	1	63.45	2.86
4	2	59.85	2.70
4	3	173.16	7.81
4	4	1919.61	86.63

Tablo 14'e göre, 1989 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %70.76'sı, su varlığı olan bölgelerin %99.15'i, tarım alanı olan bölgelerin %56.23'ü ve yapay yüzey olan bölgelerin de %86.63'ü 2019 yılında da yine aynı kalmıştır. Bunun yanında, 1989 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %2.02'si, su varlığı olan bölgelerin %0.77'si ve tarım alanı olan bölgelerin de %9.33'ü 2019 yılında yapay yüzeylere dönüşmüştür.

Tablo 15. 2003 ve 2019 yılları değişim analizi sonuçları – minimum distance

SINIF NO		DEĞİŞİM SONUÇLARI	ANALİZİ
2003	2019	ha	%
ORMAN ve YARI DOĞAL ALANLAR (1)			
1	1	28425.30	69.28
1	2	7.74	0.02
1	3	11522.80	28.08
1	4	1075.23	2.62
SU VARLIĞI (2)			
2	1	5.58	0.01
2	2	84256.60	99.38
2	3	40.41	0.05
2	4	475.38	0.56
TARIM ALANLARI (3)			
3	1	12549.20	34.14
3	2	4.32	0.01
3	3	21771.10	59.23
3	4	2431.71	6.62
YAPAY YÜZEYLER (4)			
4	1	362.70	7.15
4	2	23.04	0.45
4	3	1312.92	25.89
4	4	3371.67	66.51

Tablo 15'e göre, 2003 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %69.28'i, su varlığı olan bölgelerin %99.38'i, tarım alanı olan bölgelerin %59.23'ü ve yapay yüzey olan bölgelerin de %66.51'i 2019 yılında da yine aynı kalmıştır. Bunun yanında, 2003 yılında orman ve yarı doğal alan olan bölgelerin %2.62'si, su varlığı olan bölgelerin %0.56'sı ve tarım alanı olan bölgelerin de %6.62'si 2019 yılında yapay yüzeylere dönüşmüştür.

6. SONUÇLAR

Bu uygulamada çalışma alanı olarak Trabzon ilinin kıyı kesiminde belirlenen bir bölge seçilmiştir. Bu bölgede CORINE sınıflandırma sisteminin birinci seviyesine göre belirlenen arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının gösterdiği değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla 1989, 2003 ve 2019 tarihli LANDSAT görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler öncelikle ISODATA algoritması ile kontrolsüz olarak sınıflandırılmıştır. Kontrolsüz sınıflandırma sonucunda belirlenen spektral sınıflar düzenlenmiş ve bu şekilde elde edilen eğitim veri seti

kontrollü sınıflandırma için öncül tematik veri olarak kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma işlemi, aynı eğitim veri seti kullanılarak beş farklı algoritma ile gerçekleştirilmiştir. Bu algoritmalar, maximum likelihood, minimum distance, mahalanobis distance, spektral angle mapper ve spectral correlation mapper algoritmalardır. Sınıflandırma işlemi ile görüntüde dört adet sınıf belirlenmiştir. Bu sınıflar su varlığı, orman ve yarı doğal alanlar, tarım alanları ve yapay yüzeyler bilgi sınıflarıdır.

Sınıflandırma işleminin ardından tüm görüntülere doğruluk analizi işlemi uygulanmıştır. Bu işlem hata matrisi yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve tüm görüntüler için genel doğruluk ve kappa istatistik sayısı değerleri ile tüm sınıflar için üretici ve kullanıcı doğrulukları ile yine kappa istatistik sayıları hesaplanmıştır. Doğruluk değerlendirmesi ile elde edilen tüm sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbirlerine oldukça yakındır ve sonuçlara göre herhangi bir algoritmanın diğerine göre net bir üstünlüğü belirlenmemiştir.

Sınıflandırma işlemi ile arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının çalışma alanı içerisinde kapladıkları alanlar belirlenmiştir. Maximum likelihood ve minimum distance algoritmaları ile üretilen görüntülerden elde edilen sınıflandırma sonuçlarına göre su varlığı ve tarım alanları sınıfları doğrusal olarak azalmış ve orman ve yarı doğal alanlar ve yapay yüzeyler sınıfları ise doğrusal olarak artmıştır. Maximum likelihood algoritması ile üretilen görüntülerden elde edilen sınıflandırma sonuçlarına göre 1989 yılından 2003 yılına kadar geçen 14 yıllık sürede su varlığı sınıfı yaklaşık %0.15, tarım alanları sınıfı da yaklaşık %11.90 azalmıştır. Bunun yanında orman ve yarı doğal alanlar sınıfı %6.30, yapay yüzeyler sınıfı da yaklaşık %127.34 artmıştır. 2003 yılından 2019 yılına kadar geçen 16 yıllık sürede su varlığı sınıfı yaklaşık %0.61, tarım alanları sınıfı da yaklaşık %10.09 azalmıştır. Bunun yanında orman ve yarı doğal alanlar sınıfı yaklaşık %5.29, yapay yüzeyler sınıfı da yaklaşık %43.35 artmıştır. 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen 30 yıllık sürede su varlığı sınıfı yaklaşık %0.77, tarım alanları sınıfı da yaklaşık %20.79 azalmıştır. Bunun yanında orman ve yarı doğal alanlar sınıfı yaklaşık %11.92, yapay yüzeyler sınıfı da yaklaşık %225.90 artmıştır.

Mahalanobis distance, spectral angle mapper ve spectral correlation mapper algoritmaları ile üretilen görüntülerden elde edilen sınıflandırma sonuçlarına göre ise su varlığı ve tarım alanları sınıfı doğrusal olarak azalırken yapay yüzeyler sınıfı doğrusal olarak artmıştır. Bu sonuçlar diğer iki algoritma ile üretilen görüntülerden elde edilen sonuçlar ile uyumludur. Ancak orman ve yarı doğal alanlar sınıfı için durum farklılık göstermiştir. Buna göre orman ve yarı doğal alanlar sınıfı 1989 yılından 2003 yılına kadar geçen sürede önce artmış, 2003 yılından 2019 yılına kadar geçen sürede ise azalmıştır. Ancak 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen toplam 30 yıllık süre dikkate alındığında ise bu sınıfta yine artma durumunun meydana geldiği belirlenmiştir. Spectral angle

mapper algoritması ile üretilen görüntülerden elde edilen sınıflandırma sonuçlarına göre 1989 yılından 2003 yılına kadar geçen 14 yıllık sürede su varlığı sınıfı yaklaşık %0.17, tarım alanları sınıfı da yaklaşık %18.16 azalmıştır. Bunun yanında orman ve yarı doğal alanlar sınıfı yaklaşık %14.29, yapay yüzeyler sınıfı da yaklaşık %132.06 artmıştır. 2003 yılından 2019 yılına kadar geçen 16 yıllık sürede su varlığı sınıfı yaklaşık %0.59, orman ve yarı doğal alanlar sınıfı yaklaşık %2.64 ve tarım alanları sınıfı da yaklaşık %2.43 azalmış ve yapay yüzeyler sınıfı ise yaklaşık %48.68 artmıştır. 1989 yılından 2019 yılına kadar geçen 30 yıllık sürede su varlığı sınıfı yaklaşık %0.77, tarım alanları sınıfı yaklaşık %20.15 azalmış, orman ve yarı doğal alanlar sınıfı yaklaşık %11.28, yapay yüzeyler sınıfı da yaklaşık %245.04 artmıştır.

Çalışmanın bir sonraki aşamasında sınıflandırılmış görüntülere değişim analizi işlemi uygulanmıştır. Bu işlem ile görüntü matrisleri piksel piksel birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu sayede piksellerin ait olduğu sınıfların değişip değişmediği ve eğer değişti ise bu değişimin yönü ve miktarı belirlenebilmiştir. Bu uygulama için literatürde en çok kullanılan maximum likelihood ve minimum distance algoritmaları ile üretilen görüntüler kullanılmıştır. İki farklı görüntü seti ile elde edilen sonuçların birbirleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Buna göre sayısal olarak elde edilen ve birbirleri ile uyumlu olan sınıflandırma sonuçlarının tesadüfi olmadığı anlaşılmıştır.

Çalışma sonuçları genel olarak değerlendirilecek olursa kullanılan beş farklı kontrollü sınıflandırma algoritması ile de arazi örtüsü ve arazi kullanımı sınıflarının görüntüde kapladıkları alanlara ilişkin birbiri ile uyumlu sonuçlar elde edildiği söylenebilir. Sınıflandırma sonuçlarının doğruluk kontrolü aşamasında elde edilen sonuçlar da birbiri ile uyumlu çıkmış ve herhangi bir yöntemin diğerine göre üstünlüğü ya da zayıflığı belirlenememiştir. Buna göre çalışma alanı olarak seçilen bölgede su varlığı ile tarım alanları sınıfları azalırken yapay yüzeyler ile orman ve yarı doğal alanlar sınıfları artmıştır.

KAYNAKLAR

Abdollahnejad, A., Panagiotidis, D. ve Surovy, P. (2018). *Estimation and extrapolation of tree parameters using spectral correlation between UAV and Pléiades data.* Forests, 9(2), 85.

Ali, M. Z., Qazi, W. ve Aslam, N. (2018). *A comparative study of ALOS-2 PALSAR and Landsat-8 imagery for land cover classification using maximum likelihood classifier.* The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 21, 29 – 35.

Alimjan, G., Sun, T., Liang Y., Jumahun, H. ve Guan, Y. (2018). *A new technique for remote sensing image classification based on combinatorial algorithm of SVM and KNN.* International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 32(7).

Cabral, A. I. N., Silva, S., Silva, P. C., Vanneschi, L. Ve Vasconceles, M. J. (2018). *Burned area estimations derived from Landsat ETM+ and OLI data: comparing genetic programming with maximum likelihood and classification and regression trees.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 142, 94 – 105.

Çolak, H. E. (2018). *Trabzon ilinde tarımsal arazi kullanımındaki zamansal değişimin cbs ile belirlenmesi*. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18(3), 946-958.

Congalton, R. G. ve Green, K. (2008). Assessingthe Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, CRC Press.

ERDAS Field Guide. (2013). 1990 - 2013 Intergraph Corporation.

Fitzpatrick – Lins, K. (1981). Comparison of sampling procedures and data analysis for a land use and land cover map, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47*, 343-351.

Ha, N. T., Manley-Harris, M., Pham, T. D. Ve Hawes, I. (2020). *A Comparative Assessment of Ensemble-Based Machine Learning and Maximum Likelihood Methods for Mapping Seagrass Using Sentinel-2 Imagery in Tauranga Harbor, New Zealand.* Remote Sensing, 12(3), 355.

Jensen, J. R. (2005). *Introductory Digital Image Processing.* 3rd Edition, Prentice Hall, 379.

Karakuş, P., Karabork, H. Ve Kaya, Ş. (2017). *A comparison of the classification accuracies in determining the land cover of Kadirli region of Turkey by using the pixel based and object based classification algorithms.* International Journal of Engineering and Geosciences, 2(2), 52-60.

Kumar, M. (2012). Digital Image Processing, Photogrammetry and Remote Sensing Division Indian Institute of Remote Sensing, Dehra Dun, *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology* 81- 102, http://www.wamis.org/agm/pubs/agm8/Paper-5.pdf, Erişim Tarihi: 05.12.2012.

Lekha, S. L.S. ve Kumar, S. S. (2018). *Classification and mapping of land use land cover change in Kanyakumari district with remote sensing and GIS techniques.* International Journal of Applied Engineering Research, 13, 158-166.

Lillesand, T.M. ve Kiefer R.W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*. 5th Edition, John Wiley & Sons, 587.

Lyons, M. B., Keith D. A., Phinn, S. R., Mason, T. J. ve Elith, J. (2018). *A comparison of resampling methods for remote sensing classification and accuracy assessment.* Remote Sensing of Environment, 208, 145-153.

Sarıyılmaz, F. B., Musaoğlu, N., Tanık, A., ve KILIÇ GÜL, F. (2015). *İstanbul Sazlıdere Havzası'nın zamansal değişim analizi.* TUFUAB VII. Sempozyumu (pp.1). Konya, Türkiye.

Sarıyılmaz, F.B. (2017*). Corine sınıflandırmasının Sazlıdere Havzası ölçeğinde tematik doğruluk analizi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Shivakumar, B. R. ve Rajashekararadhya, S. V. (2017). *Performance evaluation of spectral angle mapper and spectral correlation mapper classifiers over multiple remote sensor data.* Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 2017, pp. 1-6.

Sun, G., Rong, X., Zhang, A., Huang, H., Rong, J. ve Zhang, X. (2019). *Multi-scale mahalanobis kernel-based support vector machine for classification of high-resolution remote sensing images.* Cognitive Computation, https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s12559-019-09631-5.pdf, Erişim Tarihi: 23.06.2021.

Sunar, F., Özkan, C. Ok, A. Ö., Osmanoğlu, B., Uça Avcı, Z. D. ve Berberoğlu, S. (2019). *Dijital Görüntü İşleme.* Anadolu Üniversitesi.

Url -1 < https://tr.wikipedia.org/wiki/Trabzon > Erişim Tarihi: 23.06.2021.

Van Genderen, J.L.ve Lock, B.F., 1977, Testing landuse map accuracy. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing,* 43, 1135 – 1137.

Sentinel - 2 Verilerinden Arazi Kullanım Haritalarının Üretilmesinde Farklı Sınıflandırma Algoritmalarının Karşılaştırılması

Dilan Kandemir*[1,a], Aysu Kırsoy[1,b], Emine Sevici[1,c], A. Miray Çakmak[1,d], Resul Çömert[1,e]
[1]Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 29100, Gümüşhane

Özet

Yeryüzü üzerindeki çevresel değişimlerin izlenmesi ve yönetimi gerek sürdürülebilir çevre gerekse doğal kaynakların etkin kullanımı açısından büyük önem taşımaktadır. Yersel bazlı çalışmalar baz alındığında, uzaktan algılama uygulamaları maliyet, zaman ve büyük alanların hızlı haritalanması açısından önemli faydalar sağlamaktadır. Alanı büyük ve ulaşılması mümkün olmayan alanlar için kısa süre içinde önemli araştırmaların yapılabilmesi uzaktan algılama teknolojileri sayesinde mümkün olmaktadır. Bu kapsamda gerçekleştirilecek çalışmalarda uzaktan algılanmış görüntülerin sınıflandırılması sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Uzaktan algılama görüntüleri ile üretilen arazi kullanım/arazi örtüsü haritaları kentsel ve kırsal alanda meydana gelen değişimlerin belirlenmesinde ihtiyaç duyulan ürünlerdir. Bu ürünlerin doğru şekilde üretilmesi ve kullanıcılara sunulması doğru kararlar alınması açısından önemlidir. Yapılan bu çalışmada, Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılarak farklı sınıflandırma algoritmalarının arazi kullanım/arazi örtüsü haritalamadaki başarıları araştırılmıştır. Bu kapsamda Manisa İli'nin Gölmarmara ilçesi araştırma sahası olarak seçilmiştir. Seçilen alana ait görüntüler Destek Vektör Makineleri (DVM), Rastgele Orman (RO) ve En Çok Olabilirlik (EÇO) Algoritmaları ile sınıflandırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde tüm sınıflandırma algoritmalarının arazi kullanım haritalarının üretilmesinde başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda EÇO, Rastgele Orman Destek Vektör Makineleri algoritmalarının genel doğrulukları sırasıyla %86, %77, %80 olduğu tespit edilmiştir. Kappa değerlerimiz ise sırasıyla 0.83, 0.72, 0.76 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü Haritası, Sentinel 2, Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman, En Çok Olabilirlik

1. Giriş

Günümüzde hızlı nüfus artışına paralel olarak doğal kaynaklar yetersiz hale gelmeye başlamıştır. Sınırlı sayıda olan kaynakların etkin olarak kullanılması için sürdürülebilir arazi kullanım planlarının yapılması gerekmektedir. Ülkemizde plansız olarak kullanılıp kaybedilen toprak varlığımız 573.239 hektara ulaşmış durumdadır (Dengiz ve Turan, 2014). Araziyi kontrolsüz ve plansız kullanmak ilerleyen zamanlarda daha ciddi sorunlara zemin hazırlamaktadır. Arazi kullanım planlarının yapılmasında geçmişten günümüze kadar arazi kullanım/arazi örtüsünün nasıl değiştiğinin belirlenmesi ve geleceğe yönelik planlamaların yapılması son derece önemlidir. Arazi kullanım/arazi örtüsü (AK/AÖ) haritalarının üretilmesinde uzaktan algılama uyduları ile elde edilen görüntüler geçmişten günümüze kadar başarılı şekilde kullanılmaktadır (Dengiz ve Turan, 2014; Aliyazıcıoğlu vd. 2021).

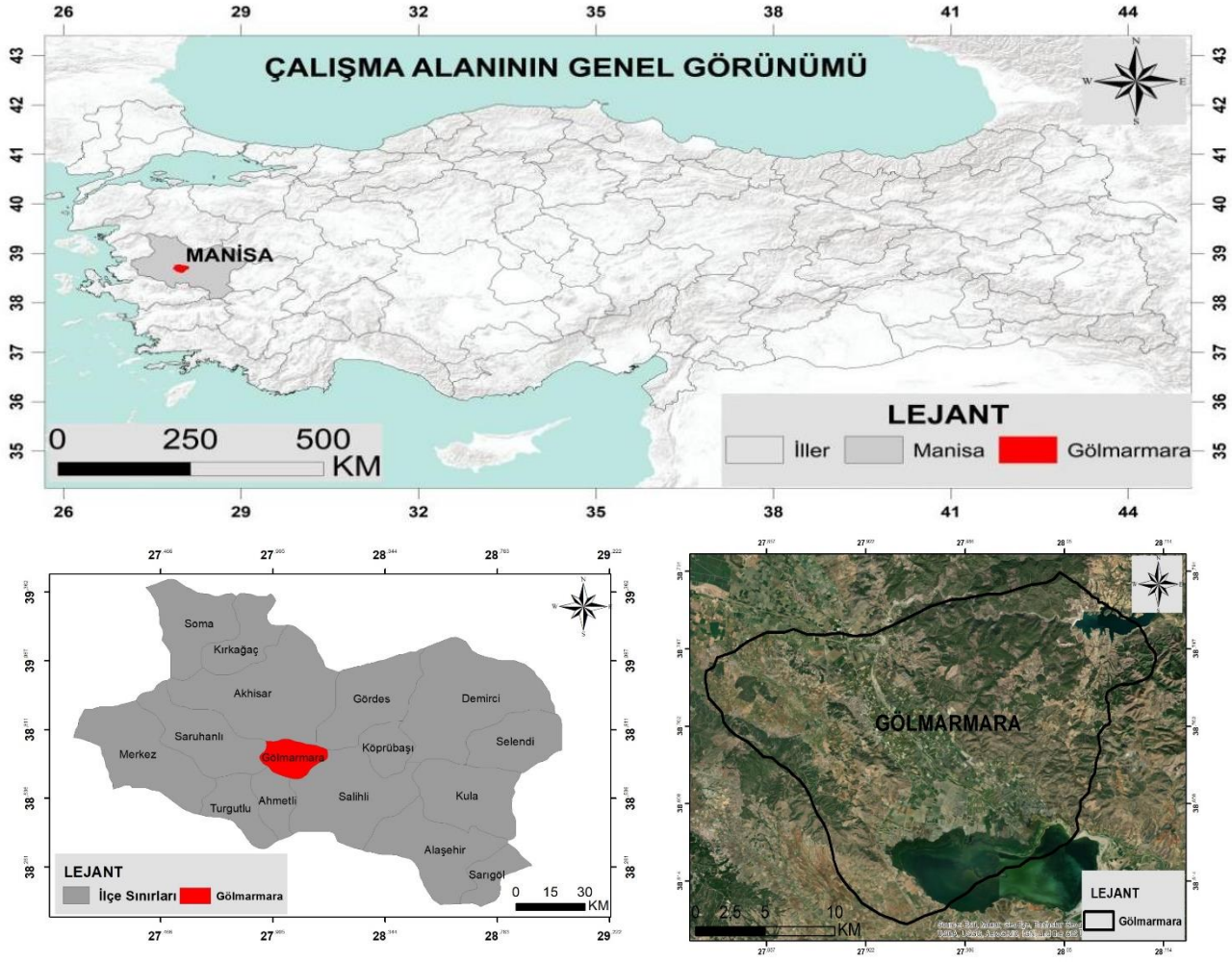
Uzaktan algılama sistemleri 1970'li yıllardan itibaren yeryüzüne ait farklı amaçlı bilgilerin çıkarılması için kullanılmaktadır. Günümüzde farklı mekânsal çözünürlükteki uydu görüntülerinden kentsel gelişimin izlenmesi, tarımsal uygulamalar, doğal afetler, arazi kullanım/arazi örtüsü haritalarının üretilmesi gibi uygulamalarda faydalanılmaktadır. Landsat uydu görüntüleri uzun yıllara ait görüntü sunması ve ücretsiz bir uydu sistemi olmasından dolayı bu amaçlar için sıklıkla tercih edilmektedir. Son yıllarda ise Sentinel 2 uydu görüntüleri Landsat uydularından daha yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip olması ve Landsat görüntüleri gibi ücretsiz olarak sunulmasından dolayı yeryüzüne ait farklı amaçlarda bilgi çıkarılmasında kullanılmaktadır.

Uydu görüntülerinden AK/AÖ haritalarının üretilmesinde genellikle nesne tabanlı ve piksel tabanlı sınıflandırma yaklaşımları tercih edilmektedir. Her iki yaklaşımda da arazi detaylarının sınıflandırmasında farklı sınıflandırma algoritmaları uygulanabilmektedir. Piksel tabanlı sınıflandırmada en çok uygulanan sınıflandırma yöntemi En Çok Olabilirlik (EÇO) algoritmasıdır. Son yıllarda ise makine öğrenme algoritmalarından olan Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Rastgele Orman (RO) gibi algoritmalar kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışmada piksel tabanlı sınıflandırma yaklaşımı kullanılarak, Sentinel 2 uydu görüntülerinden arazi kullanım/arazi örtüsü haritalarının üretilmesinde EÇO, DVM ve RO algoritmalarının başarıları araştırılmıştır. Bu kapsamda Manisa ili Gölmarmara ilçesi çalışma sahası olarak seçilmiş ve bu alanda yapılan uygulama ile seçilen sınıflandırma algoritmalarının başarısı araştırılmıştır.

2. Çalışma Alanı

Çalışma alanı olarak seçilen Manisa ilinin Gölmarmara ilçesi Ege bölgesinin kuzeybatısında yer almaktadır (Şekil 1). Gölmarmara ilçesi Manisa kent merkezine uzaklığı yaklaşık 900 metredir. Gölmarmara, yetiştirilen ürün miktarı ve çeşit açısından yörenin önemli tarım merkezi durumundadır. Toprakları verimli olan alanda sulu tarım yapılmaktadır. Pamuk, üzüm, kavun, karpuz, lahana, mısır, zeytin ve her türlü sebze yetiştirilmektedir. İlçede tarım alanı 9896 hektar, çayır-mera alanı 1000 hektar, orman alanı 8193 hektar, tarıma elverişsiz alan ise 3511 hektardır. Kuru tarım alanı 3700 hektar sulu tarım alanı 6196 hektardır (URL 1). Gölmarmara ilçesi birçok AK/AÖ sınıfını içinde bulundurduğundan dolayı bu çalışma kapsamında uygulama alanı olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Çalışma Alanının genel görünümü

3. Veri Seti

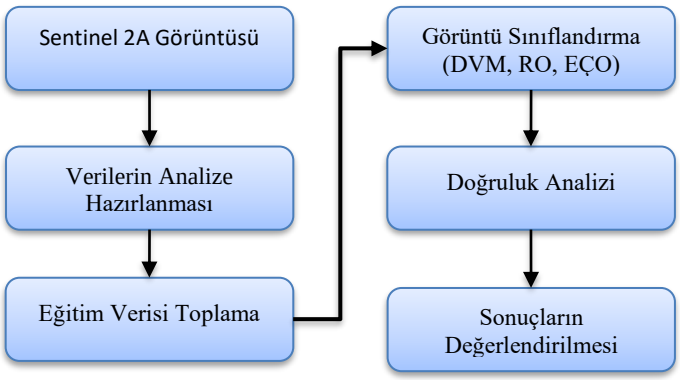
Çalışma kapsamında Sentinel 2 uydusuna ait uydu görüntüsü kullanılmıştır. Sentinel 2 uyduları Avrupa Uzay Ajansı tarafından geliştirilen yüksek çözünürlüklü 13 spektral bant bulunduran iki ikiz uydudan (Sentinel 2A ve Sentinel 2B) oluşan bir uydu sistemdir. Bu uydu sistemleri ile 10 m, 20 m ve 60 m çözünürlüğe görüntüler elde edilmektedir (Şekil 2). Çekilen görüntüler kullanıcılara ücretsiz olarak sunulmaktadır. Kullanıcıların bu görüntüleri L1C, L2A, L2AP olmak üzere farklı veri işleme seviyelerinde indirme imkânı bulunmaktadır. Manisa ilinin Gölmarmara ilçesi için Sentinel-2A uydusuna ait 16 Temmuz 2020 tarihli görüntü indirilmiştir. Çalışma kapsamında Sentinel-2A uydusunun atmosfer altı yansıma değerlerini veren L2A ürünü kullanılmıştır.

Bant	Merkez Dalga Boyu (nm)	Bant Genişliği (nm)	Konumsal Çözünürlük (m)
Band 1 – Kıyı Aerosolü	0.443	20	60
Band 2 – Mavi	0.490	65	10
Band 3 – Yeşil	0.560	35	10
Band 4 – Kırmızı	0.665	30	10
Band 5 - Bitki örtüsü kırmızı kenar	0.705	15	20
Band 6 - Bitki örtüsü kırmızı kenar	0.740	15	20
Band 7 - Bitki örtüsü kırmızı kenar	0.783	20	20
Band 8 – Yakın Kızılötesi (NIR)	0.842	115	10
Band 8A - Bitki örtüsü kırmızı kenar	0.865	20	20
Band 9 – Su buharı	0.945	20	60
Band 10 – Kısadalga Kızılötesi (SWIR)- Sirüs	1.375	30	60
Band 11 - Kısadalga Kızılötesi (SWIR)	1.610	90	20
Band 12 - Kısadalga Kızılötesi (SWIR)-	2.190	180	20

Şekil 2. Sentinel-2A uydu görüntülerinin bant özellikleri

4. Yöntem

Çalışma kapsamında uygulanan iş akışı Şekil 3'de gösterilmiştir. Çalışma sahasına ait Sentinel 2A görüntüsü L2A veri seviyesinde indirilmiştir. Veri indirme aşasından sonra analiz işleminde kullanılacak bantlar çalışma alanını sınırına göre kesilmiştir. Çalışmada Sentinel 2A uydu görüntülerinin 10 m ve 20 m konumsal çözünürlüğe sahip bantları kullanılmıştır. 20 m konumsal çözünürlüğe sahip bantlar geometrik farklılıkların oluşmaması için 10 m çözünürlüğe yeniden örneklenmiştir. 10 m çözünürlüğe sahip bantlar birleştirilerek görüntü bantları analize hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3. Çalışma kapsamında uygulana iş akış şeması

Uydu görüntülerinden bilgi çıkarmada görüntü sınıflandırma en çok tercih edilen yaklaşımdır. Sınıflandırma işlemi görüntülere piksel tabanlı ve nesne tabanlı olarak uygulanabilmektedir. Çalışma kapsamında piksel tabanlı sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Piksel-tabanlı sınıflandırma yöntemi kontrolsüz sınıflandırma ve kontrollü sınıflandırma yöntemi olarak iki grupta toplanmaktadır. Uydu

görüntülerinin sınıflandırılmasında kontrollü sınıflandırma yöntemi, doğruluğu ve güvenilirliği açısından en çok tercih edilen yöntemdir. Çalışmamızda kontrollü sınıflandırma yöntemi kullanılmıştır. Kontrollü sınıflandırma işlemi eğitim verisi toplama, eğitim işlemi sonrası görüntü sınıflandırma ve doğruluk analizi aşamalarından oluşmaktadır. Eğitim verisi toplama aşamasında öncellikle ilgili alanda bulunan AK/AÖ sınıfları belirlenir. Belirlenen her bir sınıf için görüntü üzerinden alanı homojen olarak temsil edecek alanlardan örnek pikseller toplanır. Toplanan eğitim pikselleri sınıflandırma aşamasında kullanılan sınıflandırıcı için sınıflandırma modelinin oluşturulmasında kullanılır. Görüntü sınıflandırma aşamasında toplanan eğitim verileri kullanılarak oluşturulan sınıflandırma modeli ile tüm görüntü sınıflandırılır. Sınıflandırma işleminde farklı sınıflandırma algoritmaları kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında EÇO, RO, DVM algoritmaları kullanılmıştır.

En Çok Olabilirlik (EÇO) sınıflandırma algoritması, uydu görüntü sınıflandırmada yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Bu algoritma ile sınıfları temsil eden ortalama değerler yanında, varyans ve kovaryans değerleri de sınıflandırma işleminde kullanılmaktadır. Yöntemde sınıf kümelerini oluşturan değerlerin normal dağılımda olduğu kabul edilmektedir. Sınıflandırma için sınıflandırılacak her bir pikselin olasılık yoğunluk fonksiyonu hesaplanmaktadır. Sınıflandırma aşasında sınıflandırılacak pikselin üyelik olasılığı en yüksek hangi sınıfa yakınsa piksel o sınıfa atanmaktadır (Bulut ve Günlü, 2016).

Rastgele Orman (RO) algoritması temeli karar ağaçlarına dayanan bir toplu makine öğrenme algoritmasıdır. Bu sınıflandırma yönteminde girdi olarak kullanılan eğitim pikselleri ve piksel özelliklerinde rastgele seçilen pikseller ve özelliklerden ağaçlar üretilir. Eğitim verisinde bulunan sınıflar için her bir ağaçta o sınıfı tahmin etme başarısını gösteren oylama değerleri üretilir. En çok oyu alan ağaç ilgili sınıfı sınıflandırmak için kullanılır. RO algoritmasında kullanıcı tarafından belirlenmesi gereken iki değer bulunur. Bunlar oluşturulacak ağaç sayısı ve sınıflandırma modelini oluşturmak için kullanılacak minimum özellik sayısıdır (Breiman, 1996).

Destek Vektör Makinesi (DVM), hem sınıflandırma hem de regresyon analizleri için kullanılabilen kontrollü bir makine öğrenme algoritmasıdır. Ancak daha çok sınıflandırma problemlerinde kullanılmaktadır. DVM algoritmasının amacı, veri noktalarını belirgin bir şekilde sınıflandıran N boyutlu bir uzayda (N — öznitelik sayısı) bir hiper-düzlem bulmaktır. İki sınıfı birbirinden ayırmak için seçilebilecek birçok olası hiper-düzlem vardır. Algoritmanın, maksimum aralığa sahip, yani her iki sınıfın veri noktaları arasındaki maksimum mesafeye sahip bir düzlem bulmaktır (Bulut ve Günlü, 2016).

Uydu görüntüsü sınıflandırma işleminin doğruluk analizlerinde hata matrisleri yaygın olarak tercih edilen bir yaklaşımdır. Hata matrisinde sınıf sayılarına göre sütun ve satırlar oluşturulur. Matrisin köşegenleri arasında bulunan çapraz değerler doğru sınıflandırılmış değerleri dışında kalan değerler yanlış sınıflandırılmış değerleri ifade eder. Hata matrisinde dört farklı doğruluk değeri hesaplanabilir. Bunlar; üretici doğruluğu (Ü.D), kullanıcı doğruluğu (K.D), genel doğruluk (G.D) ve Kappa (K) değerleridir (Dizdaroğlu, 2019). Bu doğruluk ölçütlerine ait eşitlikler aşağıda sırası ile verilmiştir.

$$Ü.D_{jj} = \frac{n_{jj}}{n_{+j}} \quad (1)$$

j: hata matrisindeki sütunlar
n_{jj}: j. sütun ve j. satırındaki gözlemlerin sayısı (matris köşegeni üzerinde)
n_{+j}: j. sütundaki gözlemlerin toplamı

$$K.D_{i} = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \quad (2)$$

i: hata matrisindeki satırlar
n_{ii}: i. satır ve i. sütunundaki gözlemlerin sayısı (matris köşegeni üzerinde)

n_{i+}: i. satırındaki gözlemlerin toplamı

$$G.D = \frac{\sum_{i=1}^{k} n_{ii}}{n} \quad (3)$$

n: satır veya sütunların toplamı
k: hata matrisindeki sütun sayısı

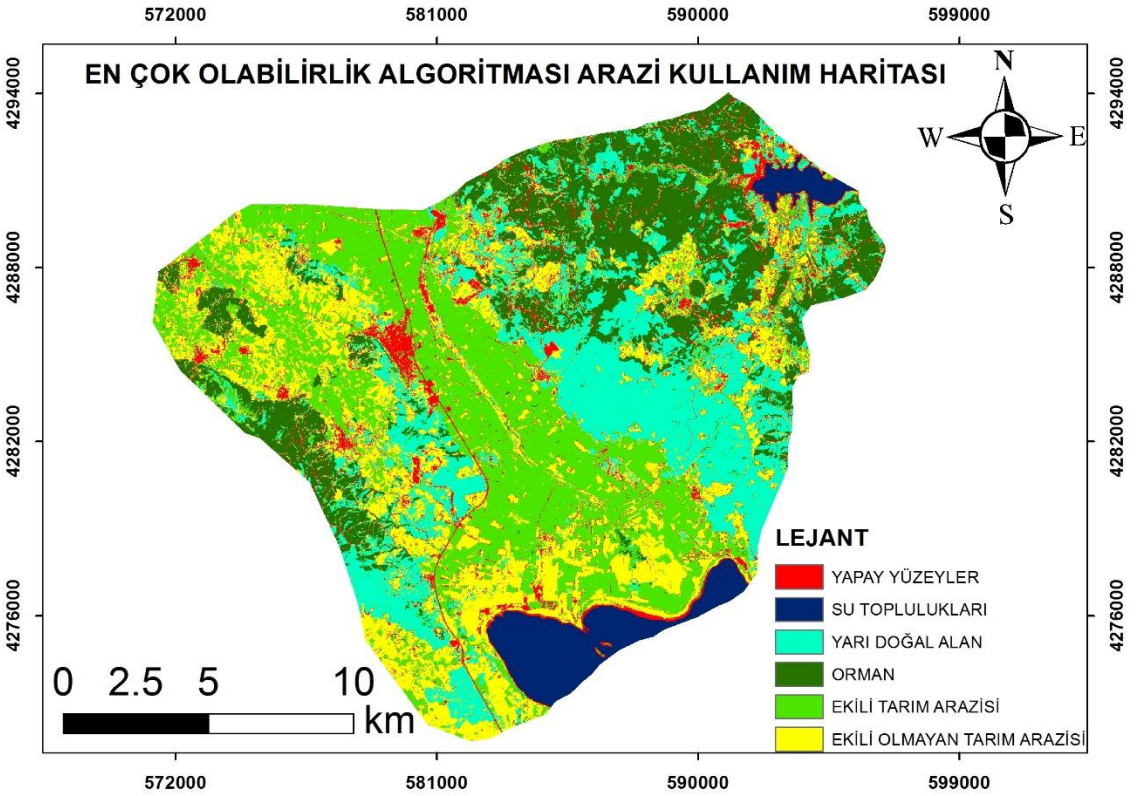
$$Kappa\ (\hat{K}) = \frac{N \sum_{i=1}^{r} x_{ii} - \sum_{i=1}^{r} (x_{i+} X x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^{r} (x_{i+} X x_{+i})} \quad (4)$$

r = hata matrisindeki satır sayısı
Xii = i satırındaki ve i sütunundaki gözlem sayısı (ana köşegende)
(Xi +) = i satırındaki gözlemlerin toplamı
(X +i) = i sütunundaki gözlemlerin toplamı
N = matrise dâhil edilen toplam gözlem sayısını ifade eder.

5. Bulgular ve Tartışmalar

Çalışma kapsamında sınıf çeşitliliği göz önünde bulundurularak farklı sınıflandıra algoritmaları ile Manisa/Gölmarmara ilçesinde AK/AÖ haritaları oluşturulmuştur. Kullanılan Sentinel 2-A uydu görüntüsüne ait 10 m, 20 m ve 60 m konumsal çözünürlükte 13 spektral bant mevcuttur. Çalışmada 10 m ve 20 m konumsal çözünürlüğe sahip 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8A, 11 ve 12 bantları kullanılmıştır. ArcGIS 10.8 programı kullanılarak bantlardan 20 m'lik (5, 6, 7, 8A, 11, 12.) olanlar 10 m konumsal çözünürlüğe yeniden örneklenmiştir. Ardından Harita Genel Komutanlığı sitesinden Türkiye Mülki İdare Sınırlarını gösteren harita indirilmiştir. İndirilen haritada ilçe sınırımıza uygun olarak bant kesme işlemi yapılmıştır. Sınıflandırma işlemi için kesilen bantlar sırasıyla eklenerek bant birleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle, alanda haritalanacak sınıfların tanımlaması yapılmıştır. Bu sınıflar; orman, yarı doğal alanlar, yapay yüzeyler, ekili tarım arazileri, ekili olmayan tarım arazileri ve su toplulukları olmak üzere 6 sınıftan oluşmaktadır. Eğitim verisi toplama aşamasında her bir sınıf için ayrı ayrı eğitim pikselleri toplanmıştır. Eğitim verisi toplama aşamasında arazi bulanan farklı sınıfları ortaya çıkarabilmek için farklı bant kombinasyonları uygulanmıştır. Ayrıca özellikle yapay yüzeylere ait eğitim verileri toplanırken Google Earth görüntülerinden de faydalanılmıştır. Oluşturulan eğitim verilerine göre kullanılan uydu görüntüsü EÇO, RO, DVM algoritmaları kullanılarak sınıflandırılmıştır. Elde edilen sonuç haritaların doğrulukları ise hata matrisinden üretilen doğruluk ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

Çalışma kapsamında öncellikle EÇO algoritmasına göre AK/AÖ haritası üretilmiştir. Üretilen harita Şekil 4'de ve bu haritaya ait hata matrisi ise Tablo 1'de gösterilmiştir. Algoritma ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde, sınıflandırmanın genel doğruluğu %86, Kappa değeri 0.83 olarak elde edildiği görülmektedir. Kullanıcı doğrulukları incelendiğinde, yapay yüzeyler (%76) ve ekili olmayan tarım arazileri (%78) dışında diğer sınıflarda %80'in üzerinde başarı sağlanmıştır. Elde edilen haritanın üretici doğrulukları incelendiğinde orman alanı (%73) dışında diğer alanlarda %80 üzerinde doğruluk değeri elde edilmiştir.

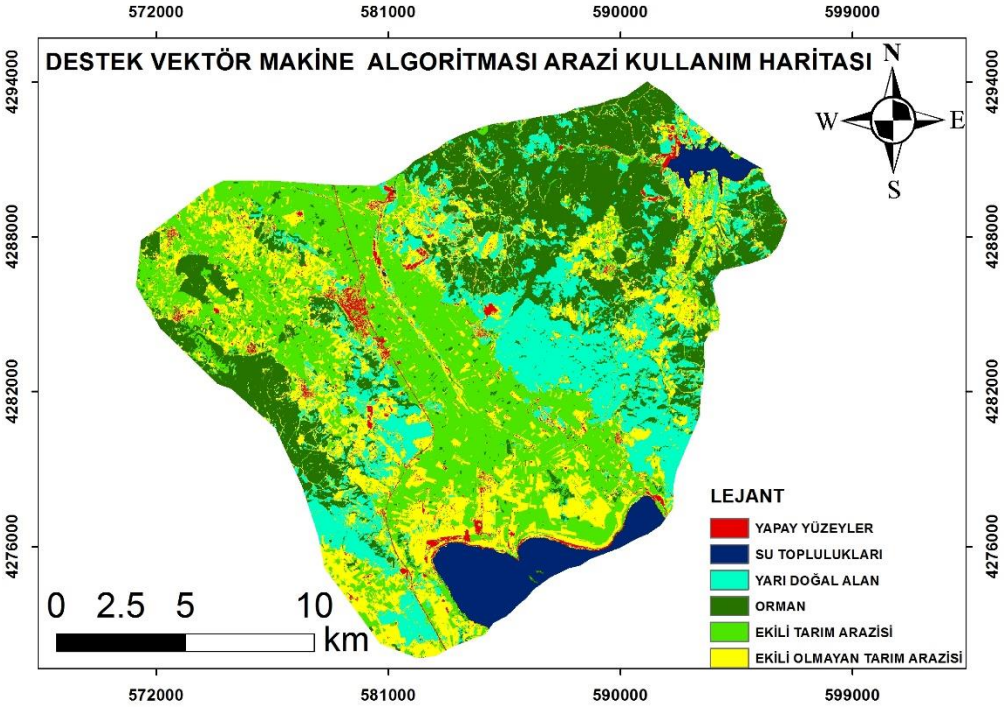


Şekil 4. EÇO algoritması ile üretilen AK/AÖ haritası

Tablo 1. EÇO algoritması ile elde edilen AK/AÖ haritasının doğruluk değerleri

Sınıflar	Yapay Yüzeyler	Su Toplulukları	Yarı Doğal Alan	Orman	Ekili Tarım Arazisi	Ekili Olmayan Tarım Arazisi	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
Yapay Yüzeyler	19	2	0	1	1	2	25	**0.76**
Su Toplulukları	0	10	0	0	0	0	10	**1**
Yarı Doğal Alan	0	0	34	6	2	0	42	**0.81**
Orman	0	0	0	35	1	0	36	**0.97**
Ekili Tarım Arazisi	0	0	0	3	47	1	51	**0.92**
Ekili Olmayan Tarım Arazisi	2	0	4	3	1	36	46	**0.78**
Toplam	21	12	38	48	52	39	210	
Üretici Doğruluğu	**0.90**	**0.83**	**0.89**	**0.73**	**0.90**	**0.92**		
Genel Doğruluk: 0.86 Kappa: 0.83								

Çalışma alanına ait RO algoritması ile üretilen AK/AÖ haritası Şekil 5'de gösterilmiştir. Üretilen haritaya ait doğruluk değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde, RO algoritması ile elde edilen haritanın genel doğruluğu, %77, Kappa değeri 0.72 olarak elde edilmiştir. Elde edilen sınıfların kullanıcı doğrulukları incelendiğinde, ekili olmayan tarım alanlarının kullanıcı doğruluğunun (%54) oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bunun dışında diğer sınıflarda yüksek doğruluk değerleri elde edilmiştir. RO algoritması ile elde edilen üretici doğruluklarına bakıldığında yapay yüzeyler ve yarı doğal alanlarda düşük doğruluk değerleri, diğer alanlarda yüksek doğruluk değerleri elde edilmiştir.



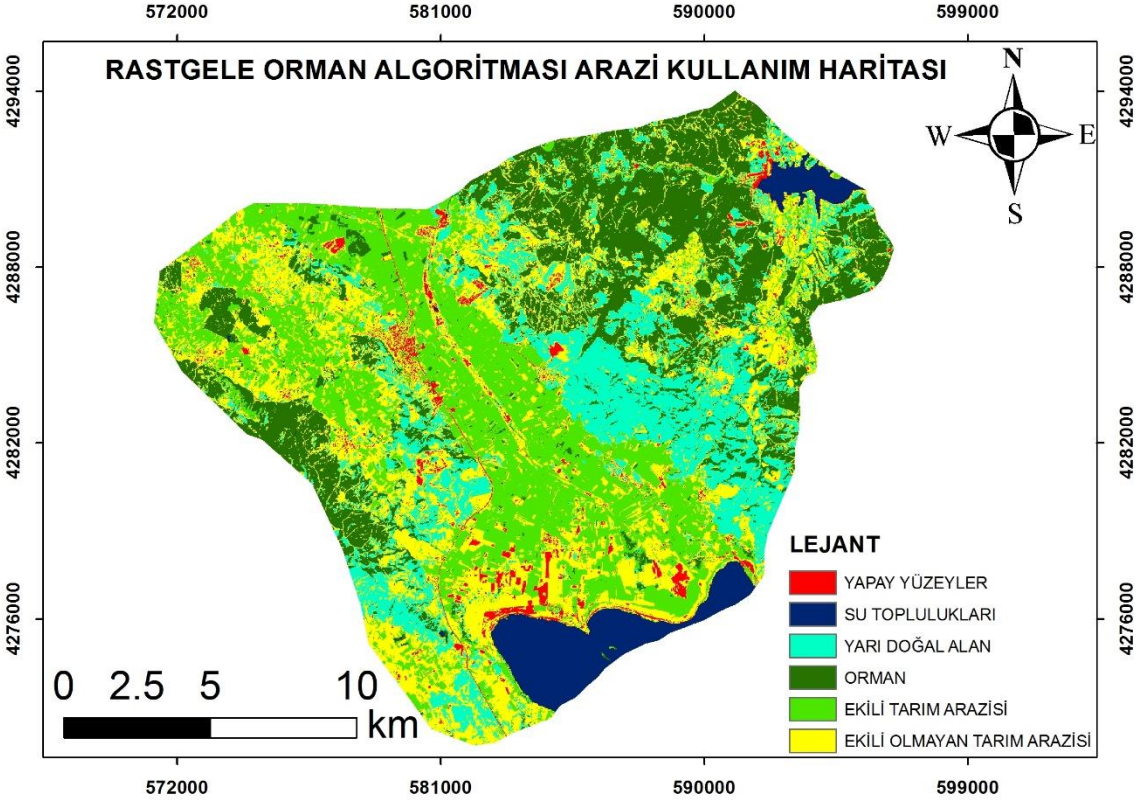
Şekil 5. DVM algoritması ile üretilen AK/AÖ haritası

Tablo 2. DVM algoritması ile elde edilen AK/AÖ haritasının doğruluk değerleri

Sınıflar	Yapay Yüzeyler	Su Toplulukları	Yarı Doğal Alan	Orman	Ekili Tarım Arazisi	Ekili Olmayan Tarım Arazisi	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
Yapay Yüzeyler	13	1	0	0	0	1	15	**0.87**
Su Toplulukları	0	10	0	0	0	0	10	**1**
Yarı Doğal Alan	0	0	24	1	0	1	26	**0.92**
Orman	2	0	6	38	2	0	48	**0.79**
Ekili Tarım Arazisi	0	1	0	1	42	2	46	**0.91**
Ekili Olmayan	6	0	8	8	8	35	65	**0.54**

Tarım Arazisi							
Toplam	21	12	38	48	52	39	210
Üretici Doğruluğu	**0.62**	**0.83**	**0.63**	**0.79**	**0.81**	**0.90**	
Genel Doğruluk: 0.77 Kappa: 0.72							

Çalışma kapsamında son olarak DVM algoritması ile çalışma alanının AK/AÖ haritası üretilmiştir. Üretilen harita Şekil 6'da, haritaya ait doğruluk değerleri Tablo 3'de sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde DVM algoritması ile üretilen haritanın genel doğruluğunun %80, Kappa değerinin 0.76 olduğu görülmektedir. Kullanıcı doğrulukları irdelendiğinde, Orman ve ekili olmayan tarım arazileri dışında diğer alanlarda %80 üzerinde başarı elde edilmiştir. Üretici doğrulukları irdelendiğinde ise DVM algoritması ile yapay yüzeylerde %57 gibi düşük bir değer elde edilmiştir. Diğer sınıflarda ise %75 üzerinde bir başarı sağlandığı gözlemlenmiştir. Algoritmaların genel başarısı değerlendirildiğinde, EÇO algoritmasının diğer iki algoritmaya göre daha başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 6. RO algoritması ile üretilen AK/AÖ haritası

Tablo 3. RO algoritması ile elde edilen AK/AÖ haritasının doğruluk değerleri

Sınıflar	Yapay Yüzeyler	Su Toplulukları	Yarı Doğal Alan	Orman	Ekili Tarım Arazisi	Ekili Olmayan Tarım Arazisi	Toplam	Kullanıcı Doğruluğu
Yapay Yüzeyler	12	1		0	1	0	14	**0.86**
Su Toplulukları	0	10	0	0	0	0	10	**1**

Yarı Doğal Alan	0	0	29	4	0	3	36	**0.81**
Orman	3	0	5	42	4	0	54	**0.78**
Ekili Tarım Arazisi	2	1	0	2	45	5	55	**0.82**
Ekili Olmayan Tarım Arazisi	4	0	4	0	2	31	41	**0.76**
Toplam	21	12	38	48	52	39	210	
Üretici Doğruluğu	**0.57**	**0.83**	**0.76**	**0.87**	**0.86**	**0.79**		
Genel Doğruluk: 0.80 Kappa: 0.76								

6. Sonuç

ESA'nın Sentinel-2A MSI görüntülerine dayanan sınıflandırma sonuçları, Manisa ili Gölmarmara ilçesinin 2020 yılına ait görüntü üzerinde, Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman ve En Çok Olabilirlik Algoritmaları kullanılarak arazi kullanım haritaları oluşturulmuş ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sentinel-2 uyduları yüksek çözünürlükte veriler sağladığı için elde edilen görüntüler üzerinde yorumlama daha doğru yapılmıştır. Elde edilen görüntüler yorumlandığı zaman DVM'de Kappa değeri 0,76, genel doğruluğu ise %80'dir. RO algoritması için ulaşılan sonuçlar Kappa değeri 0,7156, genel doğruluk değeri ise %77 'dir. Son olarak EÇO algoritması ise 0,83 Kappa değerine ve %86 genel doğruluğuna sahiptir. Sonuç olarak Manisa ili Gölmarmara ilçesine ilişkin arazi kullanım değerlendirmesinde kullanılan 3 algoritmadan genel doğruluk oranları karşılaştırıldığında en yüksek doğru sonucu veren algoritma, En Çok Olabilirlik Algoritmasıdır.

Kaynakça

Aliyazıcıoğlu, K., Beker, F., Topaloğlu, R. H., Bilgilioğlu, B. B., & Çömert, R. Temporal Monıtorıng of Land Use/Land Cover Change in Kahramanmaras City Center. Turkish Journal of Engineering, 5(3), 146-152.

Breiman L Random forests—random features. 1999 Technical Report 567, Statistics Department, University of California, Berkeley, ftp://ftp.stat.berkeley.edu/pub/users/breiman

Bulut, S., ve Günlü, A. (2016). Arazi kullanım sınıfları için farklı kontrollü sınıflandırma algoritmalarının karşılaştırılması. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 16(2), 528-535.

Dengiz, O., ve Turan, İ. D. (2014). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistem Teknikleri Kullanılarak Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı Zamansal Değişimin Belirlenmesi: Samsun Merkez Ä lçesi Örneği (1984-2011). Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 1(1), 78-90.

Timuçin Dizdaroğlu, (2019),Sentinel-1 Ve Sentinel-2 Verilerinden Tarımsal Ürün Sınıflandırması İçin Makine Öğrenme Algoritmalarının Karşılaştırılması

URL1: http://www.golmarmara.bel.tr/golmarmara-tanitim/

URL2: www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_09c24.pdf

AVL Cruise M Programı ile Yakıt Hücreli Elektrikli Lokomotif Benzetimi

Sertan TURAN*[1,a], Onur Özdal MENGİ[2,b]
[1]*Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun*
[2] *Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun*

Öz

Toplu taşıma araçları toplumun ulaşımında büyük rol oynayan taşıtlardır. Bu araçların çoğu yakıt-hava karışımıyla çalışan içten yanmalı motor sistemlerine sahiptirler. İçten yanmalı motorların düşük verimliliği, yüksek yakıt tüketimi, yüksek bakım maliyetleri ve zararlı emisyon gazları ekosisteme büyük zararlar vermektedir. Bu nedenle geleceğin teknolojisi olarak görünen elektrikli araçlara yönelim başlamıştır. Elektrikli araçlar teknolojisinin önemli basamaklarından bir tanesi de elektrikli trenlerdir. Elektrikli trenler, klasik odun-kömür veya içten yanmalı motor ile çalışan trenlerin yerini alacaktır. Hem elektrik hem de yakıt hücreleriyle çalışan trenlerin ise bu teknolojinin geleceği olacağı düşünülmektedir. Bu şekilde emisyon problemi olmayan çok daha çevreci trenler amaçlanmaktadır. Bu çalışmada AVL CRUISE M programı kullanılarak oluşturulan benzetimde, yakıt pilleri sistemin ana kaynağıdır. 1700 hücreli, 1300A kapasiteye sahip, 2kV'luk yakıt pili modeli oluşturulmuştur. %80 doluluğa sahip 1MW'lık akü grubu kullanılmış ve sistemin ek kaynağı olarak düşünülmüştür. Yakıt pilleri tarafından beslenen 8400 Nm torklu 2kV'luk sincap kafesli asenkron makine kullanılarak 100 tonluk elektrikli lokomotif hareket ettirilmektedir. Burada elektrikli lokomotif şebekeden bağımsız olarak çalışmaktadır. Böylece şebeke gerekliği ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Benzetimde; 8 dakikalık duraklar arası seyahat ve 2 dakikalık duraklarda bekleme süresi olacak şekilde 100 dakikalık sürüş çevrimi oluşturulmuştur. Bu çevrime göre oluşturulan benzetimde elektrik motorunun verimi %66.73-90 aralığında elde edilmiştir. %80 dolulukla başlayan akü grubunun şarjı %61.8-67.2 seviyelerinde seyretmiştir. Bu sonuçlar doğrultusunda oluşturulan benzetiminin yakıt-hava karışımına sahip bir lokomotife göre daha verimli olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: AVL Cruise M, Elektrikli Lokomotif, Elektrikli Araçlar, Yakıt Hücresi

Fuel Cell Electricity Locomotive Simulation with AVL Cruise M Program

Abstract

Public transportation vehicles are the vehicles that play an important role in the transportation of the society. Most of these vehicles have internal combustion engine systems powered by a fuel-air mixture. Low efficiency of internal combustion engines, high fuel consumption, high maintenance costs and harmful emission gases cause great damage to the ecosystem. For this reason, the transformation electric vehicles, which appear to be the technology of the future, has begun. One of the important steps of electric vehicles technology is electric trains. Electric trains will replace conventional wood-coal or internal combustion engine powered trains. It is thought that trains operating with both electricity and fuel cells will be the future of this technology. In this way, much more environmentally friendly trains without emission problems are aimed. In this study, fuel cells are the main source of the system in the simulation created by using AVL CRUISE M program. A 2kV fuel cell model with 1700 cells, 1300A capacity was created. 1MW battery group with 80% charge was used and considered as the additional source of the system. 100-ton electric locomotive is driven using a 2kV squirrel-cage asynchronous machine with a torque of 8400 Nm, fed by fuel cells. Here, the electric locomotive operates off-grid. Thus, the need for network has been tried to be eliminated. In the simulation; A 100-minute driving cycle has been created

with an 8-minute travel between stops and a 2-minute waiting time at the stops. In the simulation created according to this cycle, the efficiency of the electric motor was obtained in the range of %66.73-90. The charge of the battery group, which started with a charge of %80, remained at the levels of %61.8-67.2. It has been observed that the simulation created in line with these results is more efficient than a locomotive with a fuel-air mixture.

Key Words: AVL Cruise M, Electric Locomotive, Electric Vehicles, Fuel Cell

1. Giriş

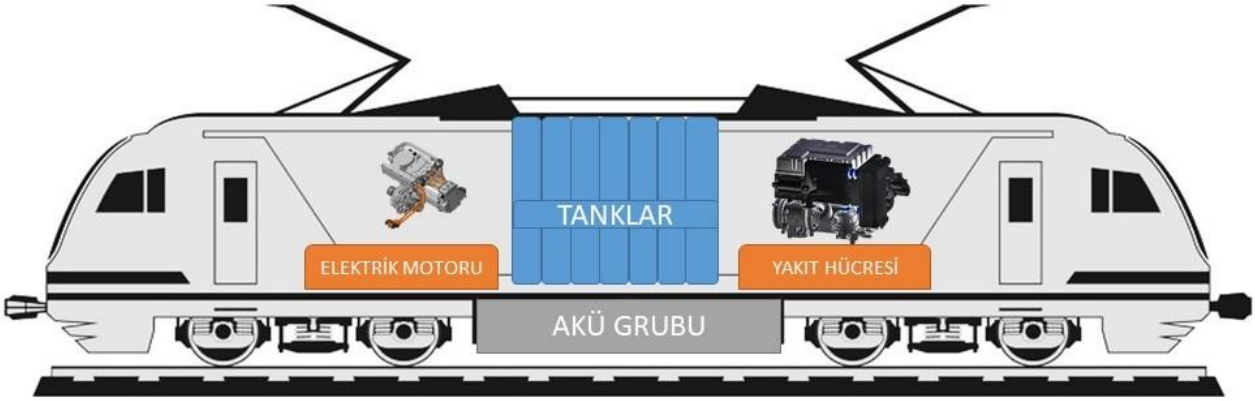
Gelişen teknoloji ile orantılı bir şekilde dünya nüfusu da artmaktadır. Bu hızlı nüfus artış beraberinden birçok sorunları da getirmektedir. Bu sorunlardan biri de ulaşım sorunudur (Birinci, 2013; Eren, 2020). Ülkelerin ulaşım konusunda üzerlerine düşen en büyük sorumluluk insanların bir yerden başka yere ulaşımlarının güvenli, hızlı, konforlu ve çevreye az zarar verecek şekilde sağlamaktır (Schoon, 1996). Bu nedenle bu alanda birçok çalışmalar yapılmakta ve yeni ulaşım alternatifleri hayata geçirilmektedir. Bu alanda yapılan en büyük projeler şüphesiz ki modern yolların yapılmasıdır. Modern yolların yapılması hızlı bir şekilde devam edilse de çok yeterli bir şekilde ulaşım sorununa çözüm olmamaktadır. Çünkü yapılan alternatif modern yollara rağmen her geçen gün trafikteki aktif araç sayısı artmaktadır. Trafikteki artan aktif araç sayısı nedeniyle yapılan alternatif yollar bu soruna bir miktar çözüm getirmektedir. Bu yüzden izlenen çözüme ek olarak insanların kendi araçlarıyla seyahatlerini azaltacak bir çözüm olan toplu taşıma alt yapısının geliştirilmesi ön plana çıkmıştır. Bu kapsamda, birçok toplu taşıma aracının sayısı ve kapasitesinin artırılması ile trafikteki araç sayısını azalmasıyla ulaşımdaki trafik sorunu çözülmeye çalışılmıştır (Schmöcker vd., 2004; Dell vd., 2011). Sayıları ve kapasiteleri artırılan bu araçların güvenli, hızlı, çevreci ve toplumun ihtiyacını karşılayabilecek özelliklerinin olması ön planda tutulmaktadır (Hamurcu ve Eren, 2018).

Dünyada ilk kez toplu taşıma araçlarının ortaya çıkışı 17.yy kadar gitmektedir (Erdoğan, 2016). Bu tarihten itibaren birçok ülke tarafından benimsenmiştir. Bu durum yepyeni bir endüstrinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Toplu taşıma araçlarının yüzdelik dilimin büyük bir oranını içten yanmalı motorların (İYM) kullanıldığı sistemlere sahip araçlardan oluşmaktadır. İYM'lara sahip araçların yerine daha verimli ve sıfır emisyonlu olan elektrik motorundan (EM) aldığı tahrik hareketiyle hareket eden elektrikli araçlara geçilmektedir (Akbulut, 2016; Akman ve Alkan, 2016). Bu büyük dönüşüm birçok avantajının olması yanı sıra birçok dezavantajları da mevcuttur. Bu dezavantajların başında bataryanın şarj sorunu, EM kontrol edilmesi, güç yönetimin yapılması gibi sorunlardır. Bu sorunlar arasındaki en büyük sorun bataryanın kapasitesi yani şarj sorunudur (Gürbüz ve Kulaksız, 2016; Kumar ve Prasad, 2018). Bu alanda birçok çalışma yapılmakta ve hatta yeni sistemler ortaya çıkmaktadır. Bataryanın şarj sorunun giderilmesine çözüm olarak görünen hibrit sistemlerin kullanılmasıdır. Hibrit sistemden kastımız elektrikli araç sistemlerinde EM ek olarak küçük hacimli İYM veya yakıt hücresiyle(YH) birlikte kullanılmasıdır (He ve Hodgson, 2002; Chen vd., 2016).

Bu çalışmada ise AVL Cruise M programı kullanılarak toplu taşıma araçlarından olan lokomotiflerin hibrit modeli olan yakıt hücreli ve elektrikli versiyonun benzetimi yapılarak literatüre katkı sağlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

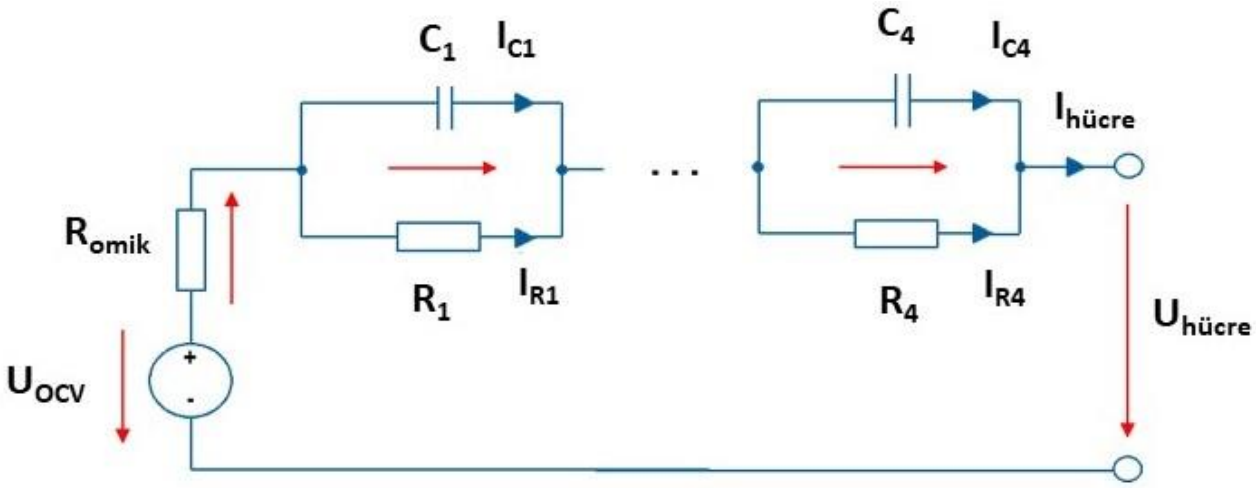
Bu çalışmada AVL CRUISE M programı kullanılarak oluşturulan benzetimde, yakıt pilleri sistemin ana kaynağıdır. 1700 hücreli, 1300A kapasiteye sahip, 2kV'luk yakıt pili modeli oluşturulmuştur. %80 doluluğa sahip 1MW'lık akü grubu kullanılmış ve sistemin yedeği olarak düşünülmüştür. Yakıt pilleri tarafından beslenen 8400 Nm torklu 2kV'luk sincap kafesli asenkron makine kullanılarak 100 tonluk elektrikli lokomotif hareket ettirilmektedir. Burada elektrikli lokomotif şebekeden bağımsız olarak çalışmaktadır. Böylece şebeke gerekliği ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır. Benzetimde; 8 dakikalık duraklar arası seyahat ve 2 dakikalık duraklarda bekleme süresi olacak şekilde 100 dakikalık sürüş çevrimi oluşturulmuştur.



Şekil 1. Yakıt hücreli elektrikli lokomotif modeli

2.1.1. Akü Grubu

Benzetimi yapılan elektrikli lokomotif örneğinde %80 doluluğa sahip 1MW'lık akü grubu kullanılmıştır.



Şekil 2. Akü grubunun eşdeğer devresi

Denklem (1)'den (8)'e kadar akünün temel denklemleri gözükmektedir.

$$SoC = \int \mathrm{eff}_{\mathrm{Coulomb}} * I_{\mathrm{hücre}}\, dt \quad (1)$$

$$U_{\mathrm{hücre}} = U_{\mathrm{OCV}} - I_{\mathrm{hücre}} * R_{\mathrm{omik}} - \sum_{i=1}^{n} \frac{Q_i}{C_i} \quad (2)$$

$$Q_i = \int I_{ci} dt \quad (3)$$

$$I_{ci} = I_{\mathrm{cell}} - \frac{Q_i}{R_i * C_i} \quad (4)$$

$$P_{hücre} = U_{\mathrm{hücre}} * I_{\mathrm{hücre}} \quad (5)$$

$$P_{\mathrm{hücre,kaybı}} = I_{\mathrm{hücre}}^2 * R_{omik} + \sum_{i=1}^{n} I_{Ri}^2 * R_i \quad (6)$$

$$P_{akü} = P_{hücre} * n_{\mathrm{seri}} * n_{\mathrm{parallel}} \quad (7)$$

$$P_{akü,kayıp} = P_{\mathrm{hücre,kaybı}} * n_{\mathrm{seri}} * n_{\mathrm{parallel}} \quad (8)$$

SoC şarj durumunu (%), $\mathrm{eff}_{\mathrm{Coulomb}}$ pilin coulombic verimliliğini ve $I_{\mathrm{hücre}}$ akımını (A), $U_{hücre}$ Hücre gerilimi (V), U_{OCV} açık devre gerilimi (V), R_{omik} Omik direnç (Ω), Q_i kapasitör yükü(coulomb) ve C_i kapasitör kapasitansı (F), I_{ci} kapasitör boyunca akan akım(A), R_i kapasitör direnci (Ω), $P_{hücre}$ hücrenin gücü (W), $P_{\mathrm{hücre,kaybı}}$ hücrede kayıba uğrayan güç (W), $P_{akü}$ akü grubunun gücü (W), n_{seri} seri bağlanan hücre sayısı, n_{parallel} paralel bağlanan hücre sayısı, $P_{akü,kayıp}$akü grubunda kaybedilen güç (W) şeklinde ifade edilir (Mengi, 2018; Turan vd., 2020).

2.1.2. Asenkron Makine

Benzetimi yapılan elektrikli lokomotif örneğinde 100 tonluk elektrikli lokomotif hareket ettire bilen 8400 Nm torklu 2kV'luk özel sincap kafesli asenkron makine(ASM) kullanılmıştır.

Denklem (9) ile (13)'e kadar ASM'nin temel denklemleri gözükmektedir.

$$P_{elk} = V * I \tag{9}$$

$$\eta = \frac{\text{faydalı güç}}{\text{toplam güç}} = \frac{P_{fay}}{P_{top}} \tag{10}$$

$$P_{fay} = P_{top} - P_{kay} \tag{11}$$

$$P_{EM,el} = P_{EM,mek} + P_{kay} \tag{12}$$

$$P_{EM,mek} = \omega * M_{EM} \tag{13}$$

Yukarıdaki denklemlerde M_{EM} atalet momenti (Nm), ω açısal hız (rad/s), $P_{EM,el}$ elektrik gücü (W), $P_{EM,mek}$ mekanik güç (W), P_{fay} faydalı gücü (W) ifade etmektedir (Mengi, 2018; Turan vd., 2020).

2.1.3 Yakıt Hücresi

Benzetimi yapılan elektrikli lokomotif örneğinde 1700 hücreli, 1300A kapasiteye sahip, 2kV'luk yakıt hücresi (YH) modeli kullanılmıştır.

Denklem (14) ile (21) arasında yakıt hücresinin temel denklemleri gözükmektedir.

$$P_{hücre} = U_{hücre} * I_{yığı} \tag{14}$$

$$P_{hücre,kayıp} = (U_{oc} - U_{hücre}) * I_{yığı} \tag{15}$$

$$U_{hücre} = U_{OC} - \eta_0 - j_0R \tag{16}$$

$$j_0R = {I_{yığı}}\Big/{A_{yüzey}} * R \tag{17}$$

$$\eta_0 = act + t_{CCL} + t_{GDL} \tag{18}$$

$$act = b * \text{arcsinh}\left(\frac{\left(\frac{j_0^2}{ja}\right)}{2\frac{c_h}{c_{ref}}\left(1-\exp\left(-\frac{j_0}{2j_*}\right)\right)}\right) \tag{19}$$

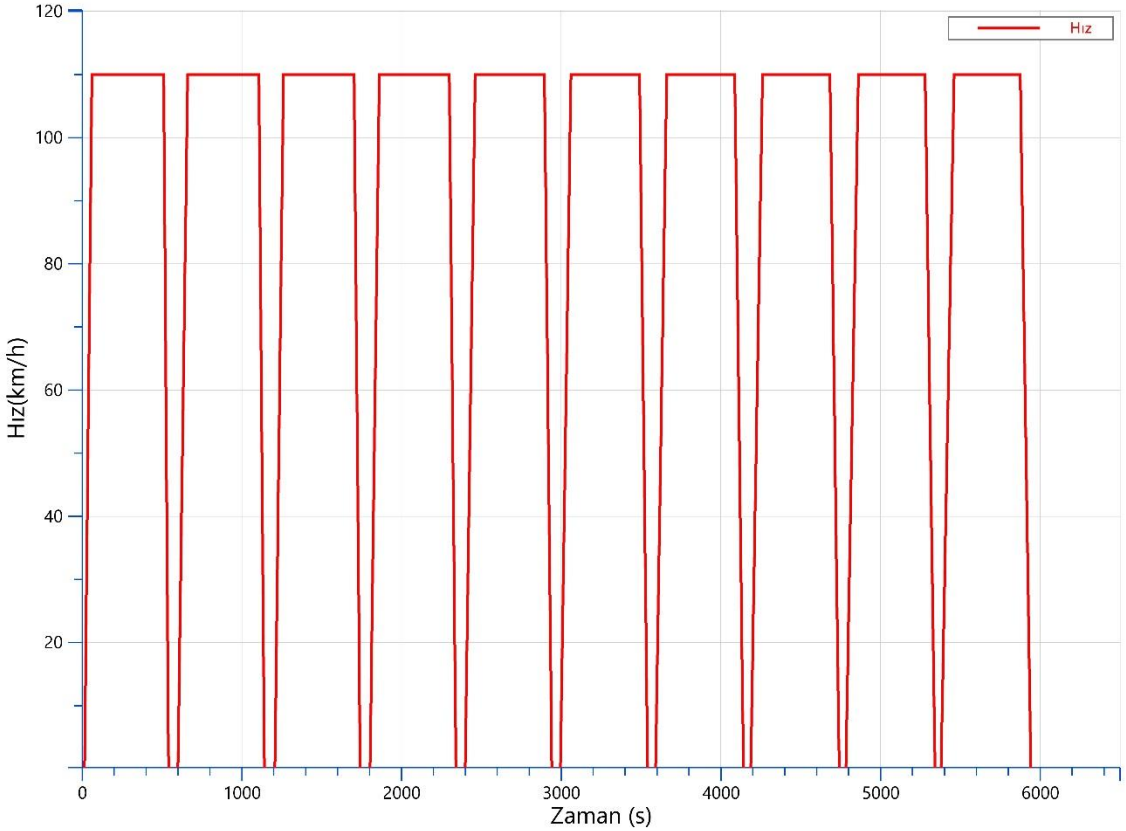
$$I_{yığı} = \frac{P_{hücre}}{U_{hücre}} \tag{20}$$

$$\eta_{hücre} = \frac{(U_{oc}-U_{hücre})}{U_{oc}} \tag{21}$$

Yukarıdaki denklemlerde $P_{hücre}$ hücre gücü (W), $U_{hücre}$ hücre gerilimi (V), $I_{yığı}$ yığı akımı(A), $P_{hücre,kayıp}$ hücredeki güç kaybı (W), U_{oc} ideal açık devre gerilimi (V), η_0 katot gerilim kaybı (V), j_0R yakıt hücresinin omik gerilim kaybı (V), $A_{yüzey}$ yakıt hücresinin yüzey alanı (cm^2), R yakıt hücresinin omik direnci (Ω), act aktivasyon gerilim kaybı (V), t_{CCL} katalizör katmanında taşınan oksijenin neden olduğu gerilim kaybı (V), t_{GDL} gaz difüzyon tabakasında oksijen taşınımından kaynaklanan gerilim kaybı (V), b tafel eğrisinin katsayısı, c_h katot kanalındaki oksijen konsantrasyonu j_0 akım yoğunluğu, j_a anot akım yoğunluğu, j_* katot akım yoğunluğu, $\eta_{hücre}$ hücre verimini ifade etmektedir (AVL, 2021).

3. Bulgular ve Tartışma

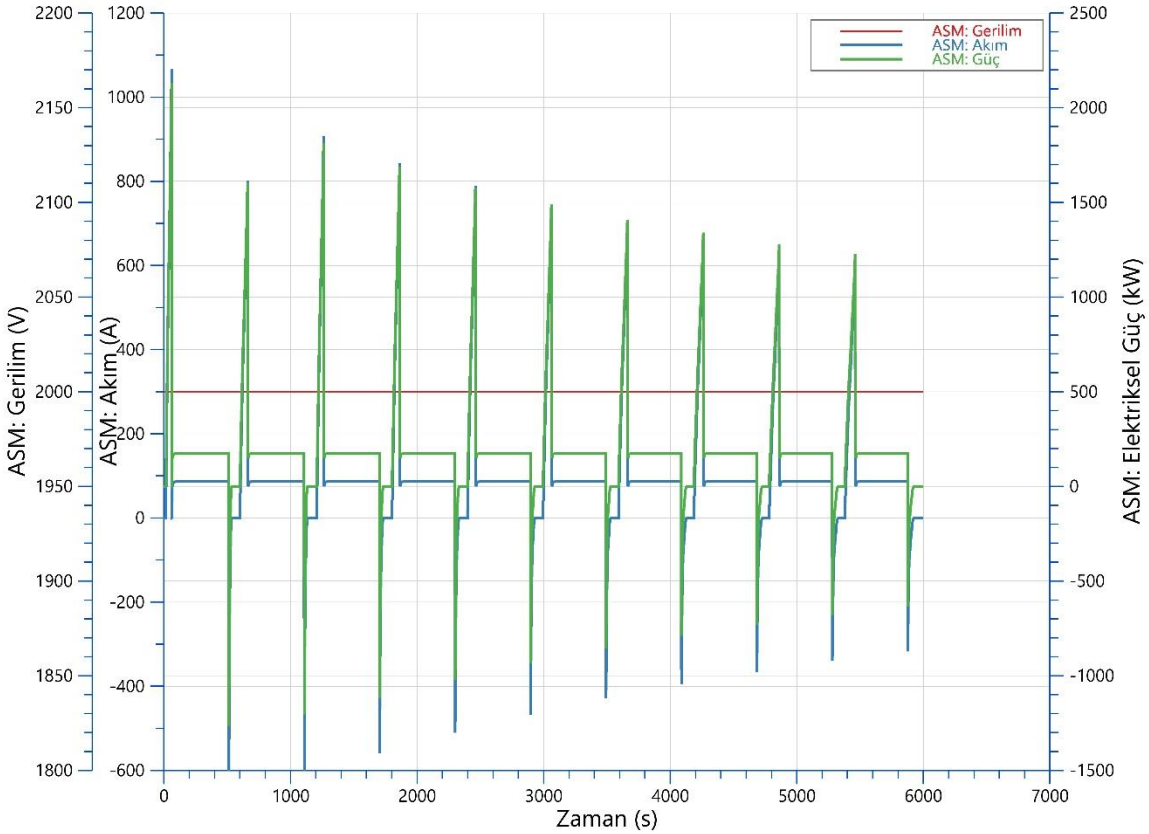
Şekil 3.'de benzetimi yapılan yakıt hücreli elektrikli lokomotifin, 8 dakikalık duraklar arası seyahat ve 2 dakikalık duraklarda bekleme süresi olacak şekilde 100 dakikalık sürüş çevrimi gösterilmektedir.



Şekil 3. Sürüş çevrimi

Benzetim için oluşturulan 100 dakikalık bu çevrim esas alınarak ASM, YH ve akü grubunun çevrim boyunca durumları gözlenmiştir.

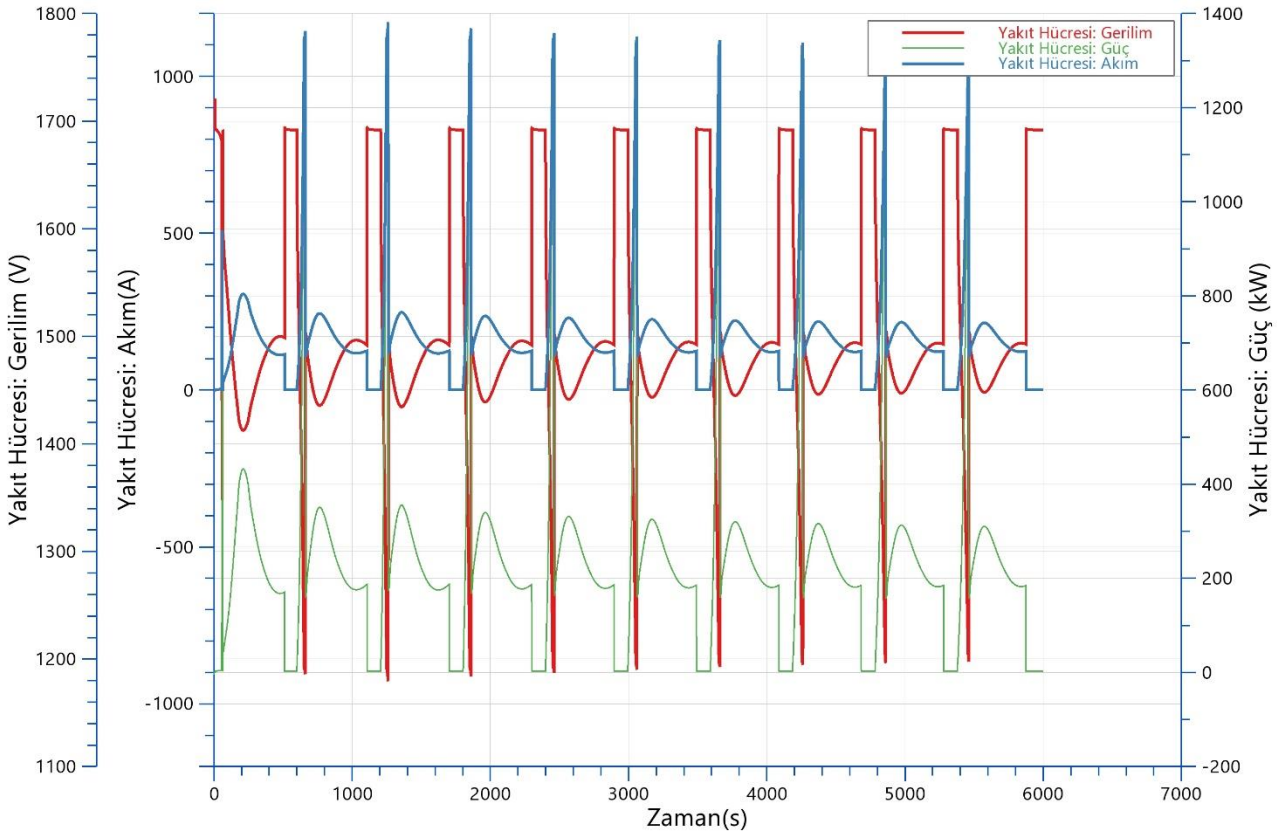
Şekil 4'de benzetimi yapılan yakıt hücreli elektrikli lokomotifin sincap kafesli asenkron makinenin güç, gerilim ve akım grafikleri görülmektedir.



Şekil 4. ASM'nin güç, gerilim ve akım

Grafikten de görüldüğü gibi ASM 2000V değerinde çalışırken 86.2A çekerken güç değeri de 172.5kW ortalama güç çektiği görülmektedir. Yavaşlama anlarında ASM'nın genaratör moduna geçmesi ve YH'nin, aküleri beslemesiyle aküler şarj olmaktadır.

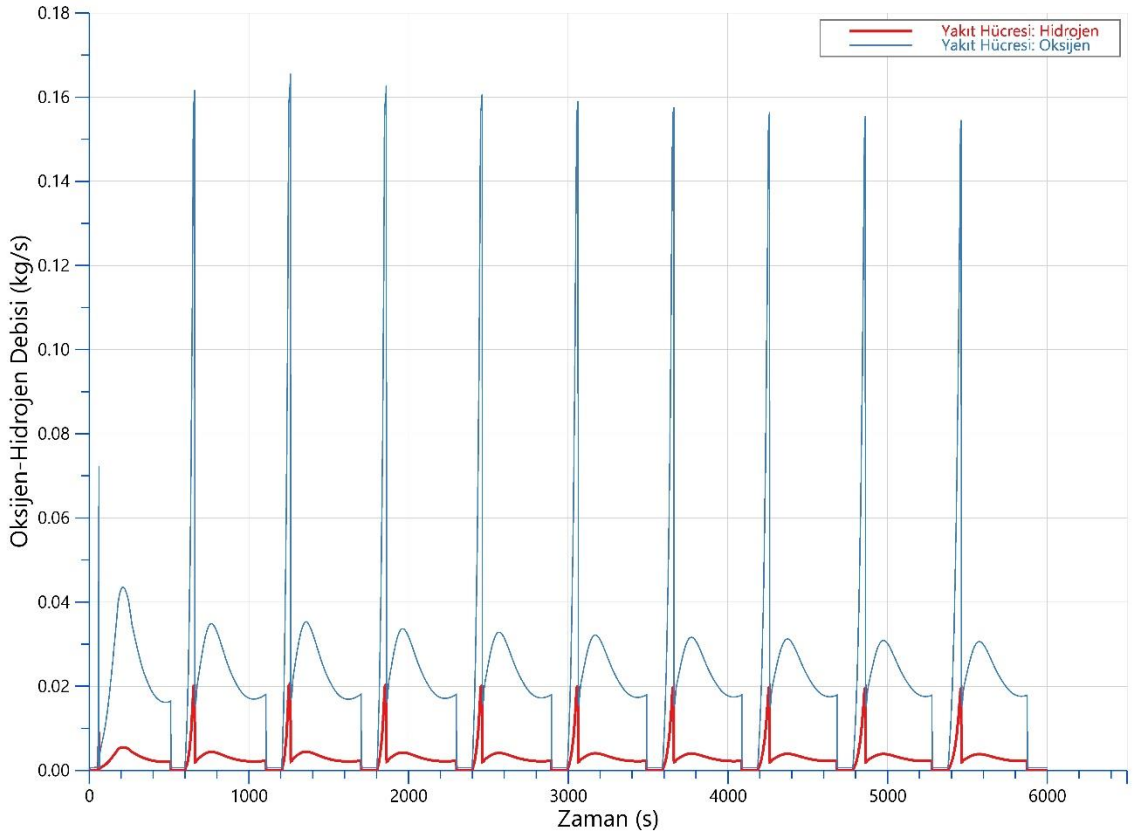
Şekil 5'de benzetimi yapılan yakıt hücreli elektrikli lokomotifin yakıt hücresinin güç, gerilim ve akım grafikleri görülmektedir.



Şekil 5. YH'nin güç, gerilim ve akım

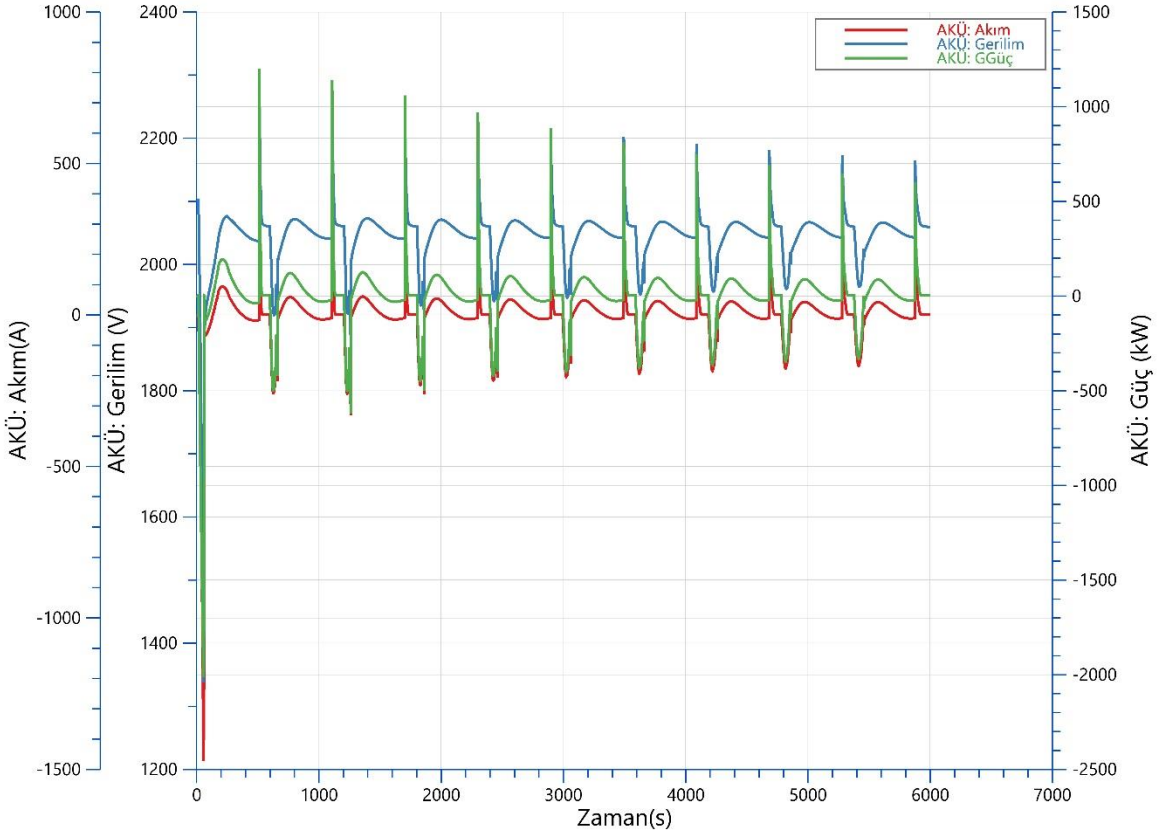
Benzetimi yapılan yakıt hücreli elektrikli lokomotifin YH sistemdeki ASM'yi ve akü grubunu şarj etmek amacıyla kullanılmaktadır.

Şekil 6'da benzetimi yapılan yakıt hücreli elektrikli lokomotifin yakıtı hücresinin ihtiyaç duyduğu oksijen ve hidrojenin kütlesel debisi grafikleri görülmektedir.



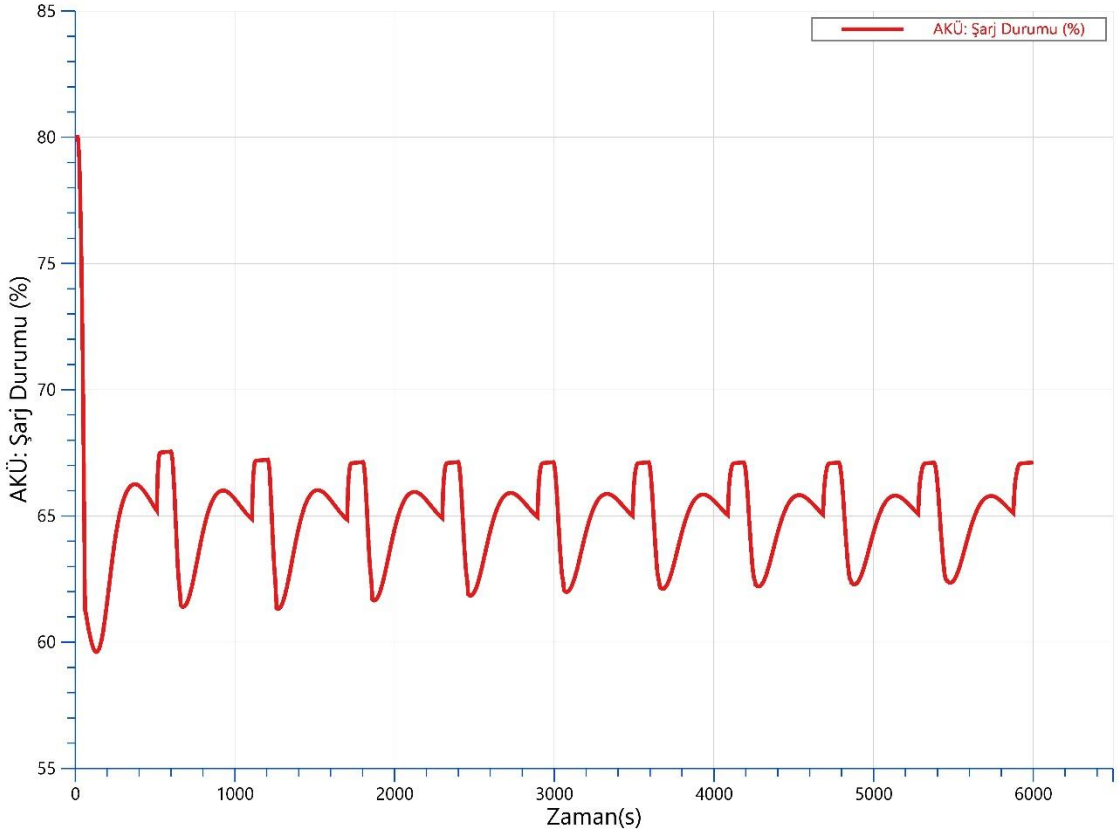
Şekil 6. YH'nin ihtiyaç duyduğu oksijen ve hidrojenin kütlesel debisi

Şekil 7'de benzetimi yapılan yakıt hücreli elektrikli lokomotifin akülerin güç, gerilim ve akım grafikleri görülmektedir.



Şekil 7. Akünün güç, gerilim ve akım

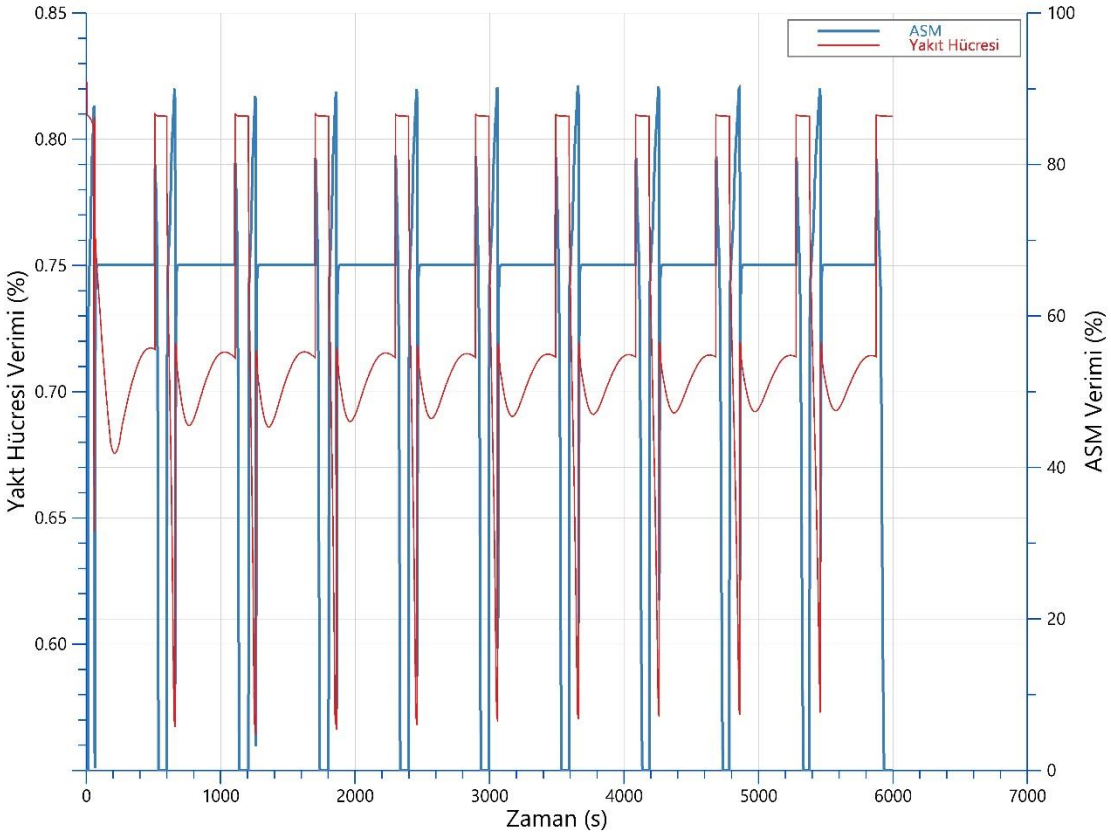
Şekil 8'de benzetimi yapılan yakıt hücreli elektrikli lokomotifin sürüş çevrimine göre akünün şarj durumundaki değişimi gösteren grafik görülmektedir.



Şekil 8. Akünün şarj durumu

Başlangıçta akü grubu %80 şarj durumundadır. Daha sonra lokomotif yol aldıkça akünün şarj durumu %61.8-67.2 arasında yükselmelerde şarj olduğu, düşmelerde ise deşarj olduğu görülmektedir. Bu durum benzetimde kullanılan sürüş çevriminden kaynaklanmaktadır.

Şekil 9'da benzetimi yapılan yakıt hücreli elektrikli lokomotifin sürüş çevrimine göre ASM ve YH'nin verim grafikleri görülmektedir.



Şekil 9. ASM ve YH'nin verimleri

ASM'nin sürüş çevrimi boyunca sistemdeki verimi %90 ile %66.73 arasında değişmektedir. Aynı zamanda YH'nin verimi ise %80.9 ile %56.9 arasında değişmektedir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

AVL Cruise M programında benzetimi yapılan yakıt hücreli elektrikli lokomotifin oluşturulan sürüş çevrimine göre sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında şebekeden bağımsız olarak çalışan elektrikli lokomotifin ilk kalkış anında yüksek akıma ihtiyaç duymaktadır. Gerekli duyulan bu yüksek akımın miktarı akü grubun ile yakıt hücresinden karşılanmaktadır. Eğer gerek duyulan yüksek akım miktarının yalnızca akü grubundan veya YH'nden karşılanmasının zor olmasının yanı sıra iki sisteme zarar vermesi de söz konusudur.

YH'leri bu sistemde enerji üreteci görevindedir. Yani ASM'nin ihtiyaç duyduğu enerjiyi karşılarken aynı zamanda sistemdeki akü grubunu şarj etmek amacıyla da kullanılmaktadır. Sistemdeki akü grubu ise ihtiyaç duyulan ani güç değerlerini karşılamada kullanılan kaynak olarak görülmektedir.

Sistemde kullanılan ASM'nin çevrim boyunca 66.73 ile 90 arasında bir verim grafiği ortaya koyması %30-40'lardaki fosil yakıtlı (Turan vd., 2020) bir lokomotif örneğine göre daha verimli ve çevreci olduğu net bir şekilde görülmektedir.

Yukarıda bahsedilen sonuçlar ışığında benzetimi yapılan lokomotif örneğinin daha verimli ve çevreci olduğunu göstermektedir. Benzetim daha farklı sürüş çevrimlerinde sürülerek farklı sonuçlar elde edilebilir. Aynı zamanda sistemdeki akıllı kontrol sisteminin iyileştirilmesi, daha yeni ve verimli ASM, YH veya akü grubunun kullanılarak aracın ağırlığı azaltılarak daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Teşekkür / Katkı Belirtme (*Gerekli durumlarda veya tercihen kullanılır*)

Bu çalışmada program desteği konusunda yardımcı olan AVL'nin Türkiye distribütörü AVL Research and Engineering Turkey' ye yardımları ve destekleri için teşekkür ederiz.

Kaynaklar

Akbulut, F. (2016). Kentsel Ulaşim hizmetlerinin planlanmasi ve yönetiminde sürdürülebilir politika önerileri. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 11(1)*, 336-355.

Akman, G. ve Alkan, A. (2016). İzmit kent içi ulaşımda alternatif toplu taşıma sistemlerinin aksiyomlarla tasarım yöntemi ile değerlendirilmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(1),* 54-63. . https://doi.org/10.5505/pajes.2015.55376

Avl Cruise M User Manual Technical Modules Fuell (FC) Theory. (2021, 22 Mayıs).Erişim adresi: https://www.avl.com/

Birinci, A. (2013). Nüfus artışının ekonomiye yaptığı etkiler açısından değerlendirilmesi ve türkiye'deki yansımaları. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, *29(1),* 153-158.

Chen, J., Xu, C., Wu, C., and Xu, W. (2016). Adaptive fuzzy logic control of fuel-cell-battery hybrid systems for electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Informatics, 14(1),* 292-300. https://doi.org/10.1109/TII.2016.2618886

Dell,'Olio, L., Ibeas, A. and Cecin, P. (2011). The quality of service desired by public transport users. *Transport Policy, 18(1),* 217-227. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2010.08.005

Erdoğan, Ö. (2016). Günümüzde belediyelerin sürdürülebilir kent-içi ulaşım (toplu taşımacılık) ile ilgili görev ve sorumlulukları. *Anadolu Bil Meslek Yüksekokulu Dergisi, (44).*

Eren, M. V. (2020). Nüfüs artışı ile kalkınma arasındaki ilişki: sahra-altı afrika ülkeleri üzerine ampirik bir analiz. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, *(27),* 141-158. https://doi.org/10.18092/ulikidince.586948

Gürbüz, Y. ve Kulaksız, A. A. (2016). Elektrikli araçlar ile klasik içten yanmalı motorlu araçların çeşitli yönlerden karşılaştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6(2),* 117-125. https://doi.org/10.17714/gufbed.2016.06.011

Hamurcu, M. ve Eren, T. (2018). Yüksek kapasiteli elektrikli otobüslerin seçiminde hibrit çok kriterli karar verme uygulaması. *2018 Transist 11. Uluslararası Ulaşım Teknolojileri Sempozyumu ve Fuarı*, 1-10. İstanbul.

He, X. and Hodgson, J. W. (2002). Modeling and simulation for hybrid electric vehicles. I. Modeling. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 3(4),* 235-243. https://doi.org/10.1109/TITS.2002.807781

Kumar, A. and Prasad, L. B. (2018). Issues, challenges and future prospects of electric vehicles: A review. *In 2018 International Conference on Computing, Power and Communication Technologies (GUCON)* (pp. 1060-1065). IEEE. India. https://doi.org/10.1109/GUCON.2018.8675007

Mengi, O.Ö., (2018). Dizel Bir Aracın Elektrikli Araca Dönüşüm Performansının Değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik. Bilim Dergisi, 30(1),* 175-182.

Schmöcker, J. D., Bell, M. G. H., and Lam, W. H.K. (Ed.), (2004). Importance of public transport. *Journal of Advanced Transportation 38(1)* 1-4. https://doi.org/10.1002/atr.5670380102

Schoon, J. G., (1996). Transportation systems and service policy: a project-based introduction. *Springer-Science+Business Media, B.V.*

Turan, S., Mengi, O. O. ve Adatepe, H.(2020). Seri ve Paralel Elektrikli Hibrit Araçların Sayısal Simülasyon ile Karşılaştırılması. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, 10(2),* 302-314. https://doi.org/10.31466/kfbd.737921

Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Güneş Panellerinden Beslenen AA/DA Yüklerin Kontrolü, Modellenmesi ve Benzetimi

Onur Özdal MENGİ*[1,a]

[1]*Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 28200, Giresun*

Öz

Bu çalışmada ev tipi yüklerin Fotovoltaik Güneş Enerjisi (FVGE) sisteminden elde edilen enerji ile beslenmesi ve burada kullanılan cihazların farklı kontrolörler ile denetlenerek bu kontrolörlerin kıyaslanması konusu üzerine çalışılmıştır. Şebekeden bağımsız bir çiftlik evinin enerji ihtiyacının karşılanması ve tarlanın sulama sistemi için gerekli olan enerjinin güneş enerjisinden elde edilmesine çalışılmıştır. FVGE, temel ihtiyaçları karşılayabilmesi için düşük güçlü ve ucuza mal olacak şekilde dizayn edilmiştir. Sistem, fotovoltaik güneş panelleri, aküler, akü şarj cihazı, maksimum güç noktası izleyici, kıyıcılar, kontrolörler, evirici ve AA/DA yüklerinden oluşmaktadır. Fotovoltaik güneş enerji sistemi kurulu gücü 1600W'dır. Sistemde acil durumlar için 4 adet akü kullanılması ile birlikte yüklerin enerjisiz kalmasının önüne geçilmeye çalışılmıştır. Maksimum güç noktası izleyici olarak değiştir ve gözle metodu kullanılmıştır. Aynı zamanda biri aküleri şarj etmek için diğeri çıkış gerilimini 12V değerinde sabit tutabilmek için 2 kıyıcı ile birlikte senkron olarak çalışmaktadır. Akü şarj devresinde çift yönlü senkron azaltan tip kıyıcı kullanılmıştır. DA yükleri ve evirici için ise azaltan tip kıyıcı kullanılmıştır. Evirici giriş gerilimi 12V, çıkış gerilimi ise 3 faz 380V/50Hz olarak yapılmıştır. Böylece istenirse hem 1 fazlı hem de 3 fazlı yüklerin beslenebilmesi sağlanmaya çalışılarak esnek bir kullanım hedeflenmiştir. Tarlanın sulamasını yapmak için 600W'lık bir adet dalgıç pompa/su pompası kullanılmıştır ve aydınlatma yükleri de bulunmaktadır. Sistemde kullanılan çok sayıda kontrolör ile hem kıyıcılar hem de evirici kontrol edilmeye çalışılmıştır. Kıyıcılar sabit 12V çıkış gerilimini sağlarken eviricide kullanılan kontrolörler ise 380V/50Hz değerinde yük gerilimini sabit tutmaya çalışmaktadır. Burada PI ve Kesir dereceli PI (KPI) kontrolörler kullanılmış ve etkinlikleri analiz edilmiştir. Sistemin tamamının analizi ve benzetimi Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Değiştir ve Gözle, Fotovoltaik Güneş Enerjisi, Kesir Dereceli PI, PI

The Control, Modeling and Simulation of AC/DC Loads Fed by Off-Grid Photovoltaic Solar Panels

Abstract

In this study, it has been done to feed household loads with energy obtained from Photovoltaic Solar Energy (PVSE) system and to control the devices used here with different controllers and to compare these controllers. It has been tried to meet the energy needs of an off grid farm house and to obtain the energy required for the irrigation system of the field from the sun. PVSE has been designed to meet basic needs with low power and low cost. This system consists of photovoltaic solar panels, batteries, battery charger, maximum power point tracker, choppers, controllers, inverter and AC/DC loads. The installed power of the photovoltaic solar energy system is 1600W. With the use of 4 batteries for emergencies in the system, it has been tried to prevent the loads from being de-energized. The perturbation and observation method has been used as the maximum power point tracker. At the same time, it works synchronously with 2 choppers, one to charge the batteries, the other to keep the output voltage constant at 12V. Bidirectional synchronous buck chopper is used in the battery charging circuit. For DC loads and inverter, a buck type chopper was used. The inverter input voltage is 12V, and the output voltage is 3-phase 380V / 50Hz. Thus, a flexible use is aimed by trying to ensure that both 1-phase and 3-phases loads can be supplied if desired. A 600W water pump has been used to irrigate the field and there are also lighting loads. Both choppers and inverters have been tried to be controlled with a large number of

controllers used in the system. While the choppers provide a constant 12V output voltage, the controllers used in the inverter try to keep the load voltage constant at 380V / 50Hz. Here, PI and fraction order PI controllers were used and their efficiency was analyzed. The analysis and simulation of the whole system was carried out in Matlab / Simulink environment.

Key Words: Fractional Order PI, Perturbation and Observation, Photovoltaic Solar Energy, PI

1. Giriş

Günümüzde şebekeden uzakta bulunan yüklere elektrik tedariki önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle büyük arazilerin ortasındaki çiftlikler, hayvancılıkla uğraşılan yerler ya da madencilik gibi uygulamalarda yüksek enerji ihtiyacına neden olmaktadır. Buralara elektrik enerjisi sağlamak için uzun mesafeler boyunca kablo çekmek zorunda kalınmaktadır. Ayrıca kablo çekme işleminin hem pahalı olması hem de çok fazla zaman alması nedeniyle büyük bir dezavantaj sağlamaktadır.. Bu nedenle şebekeden bağımsız bir elektrik enerji üretim istasyonu kurmak bu sorunları ortadan kaldırabilmektedir. Gerek rüzgâr türbini gerekse güneş panellerinden elektrik enerjisi elde edilerek yükler beslenebilmektedir. Dolayısıyla kendi kendine yeten, şebeke ile bağlantısı olmayan enerji üretim tesisleri önem kazanmaktadır.

Şebekeden bağımsız elektrik enerjisi üretim tesisleri fotovoltaik güneş panelleri (Altas and Mengi, 2010), rüzgar türbinleri (Sierra-Garcia and Santos, 2021), yakıt pilleri (Shen ve ark., 2020), dere tipi hidroelektrik sistemleri (Özdemir ve ark., 2020), ya da tüm bu sistemlerin farklı kombinasyonlarından oluşan sistemler olarak sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemler yaygın olarak tek başlarına kullanılabildikleri gibi melez yapıda da olabilmektedirler (Engin ve Çolak, 2005).

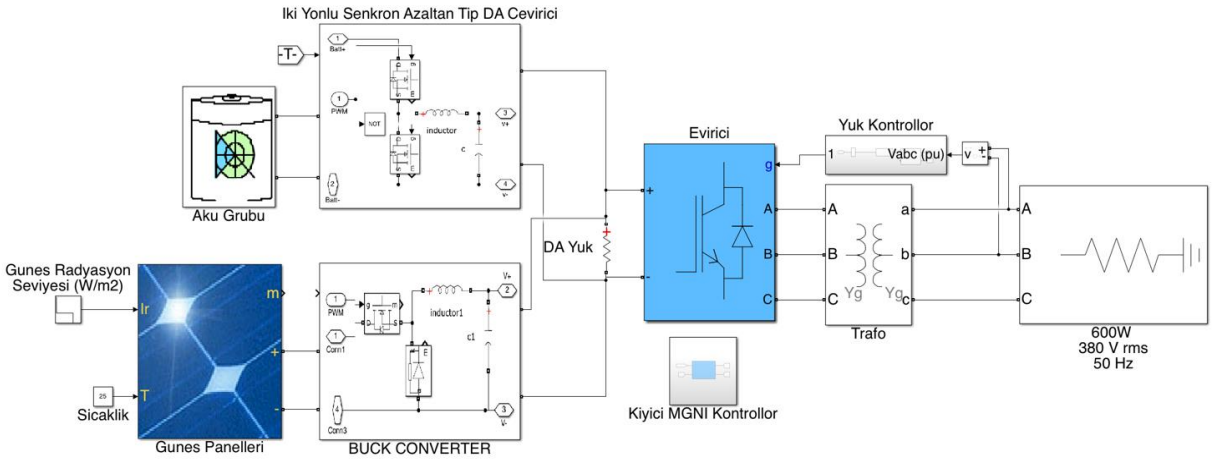
Yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemlilerinden bir tanesi güneş enerjisidir. Büyük, orta ya da küçük güçlü tesisler şeklinde tasarlanabilmektedir (Krauter, 2006). Büyük güçlü olanlar MW ya da GW mertebelerinde enerji üretebilmektedir. Orta güçte olanlar genellikle kW mertebesinde enerji üretir ve küçük güçlü olanlar genellikle birkaç evin, apartmanın ya da sitenin enerjisini karşılayabilecek boyuttadır (Xiao, 2017).

Bu eserin konusu küçük güçlü güneş enerji üretimidir. Bu tip sistemler şebeke bağlantılı olabildiği gibi şebekeden bağımsız yapıda da olabilirler (Bodele and Kulkarni, 2020). Şebekeden bağımsız olan bir güneş enerjisi üretim sistemi güneş panelleri, aküler, Maksimum Güç Noktası İzleyici (MGNİ), akü şarj cihazı, evirici ve yüklerden oluşur. Teknolojideki son gelişmeler ile akü şarj cihazı ve MGNİ bir arada olan cihazlar bulunabildiği gibi akü şarj cihazı, MGNİ ve evirici bir arada bulunan, tek bir cihaz şeklinde ürünlerde piyasada bulunabilmektedir. Böylece son kullanıcı için kullanması ve bağlantısı kolay cihazlar sunulmaktadır (Haberlin, Eppel, 2012).

Yapılan benzetim çalışmasında fotovoltaik güneş panellerinden beslenen ve bir tarlayı sulamak için kullanılan 600W'lık dalgıç pompanın ihtiyaç duyduğu enerjinin verimli bir şekilde elde edilmesi ve kullanılması çalışması yapılmıştır. Sistem fotovoltaik güneş panelleri, MGNİ, aküler, evirici, AA ve DA yükleri ve kontrol ünitelerinden oluşmaktadır. Evirici 3 fazlı tasarlanmıştır. Böylece hem 1 fazlı hem de 3 fazlı yükler beslenebilecek şekilde esnek kullanım amaçlanmıştır. Bunun dışında DA yükleri de kullanılarak istendiğinde AA dışında da besleme yapabildiği gösterilmiştir. MGNİ cihazı değiştir ve gözle algoritmasını kullanarak değişken ortam koşullarında güneş panellerinden maksimum verimin alınmasını sağlamıştır. Hem MGNİ hem de akülerin şarj edilebilmesi için ayrı ayrı 2 adet kıyıcı kullanılmıştır. Aküler hem enerji vermekte hem de fazla enerji olması durumunda şarj olmaktadır. Bunun için senkron azaltan tip kıyıcı kullanılmıştır. Ortam güneş seviyesi tüm benzetim çalışmasında sürekli olarak değiştirilerek test edilmiştir. Ortam sıcaklığı 25°C de sabit tutulmuştur. Sistemde yükler üzerindeki gerilimi 380V/50Hz değerinde sabit tutabilmek için hem PI hem de kesir dereceli PI kontrolörler kullanılarak yük gerilimi kontrol edilmeye çalışılmıştır. Bu sırada kullanılan kontrolörlerin etkinlikleri de kıyaslanmıştır. Sistemin tamamı Matlab/Simulink ortamında tasarlanmış ve benzetimleri yapılarak sonuçları değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

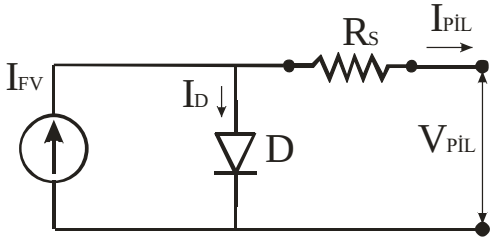
Şekil 1'de benzetimi yapılan sistem görülmektedir. Güç akışı güneş panellerinden yüklere ve akülere doğrudur. Akülerde ise hem akülerden yüklere hem de güneş panellerinden akülere doğru iki yönlü güç akışı olabilmektedir. Bu durum MGNİ ve akü şarj regülatörü (senkron azaltan tip kıyıcı) tarafında sağlanmaktadır. 6 IGBT'den oluşan ve 2 seviyeli evirici 3 faz 380V/50Hz gerilim sağlamaktadır. Sistemde hem AA hem de DA yükler bulunmaktadır. Sistemin tamamında PI ve kesir dereceli PI kontrolörler kullanılmıştır.



Şekil 1. Benzetimi yapılan sistem

2.1. Fotovoltaik Güneş Panelleri

Fotovoltaik güneş hücreleri güneşten gelen fotonların yüzeylerine çarpması ile serbest hale gelen elektronların devreyi tamamlaması ile elektrik enerjisi üreten sistemlerdir. Bu güneş hücreleri bir araya gelerek seri ve paralel bağlanmak suretiyle güneş panelleri elde edilir. Şekil 2'de bir güneş pilinin eşdeğer devresi görülmektedir.



Şekil 2. Fotovoltaik güneş pili eşdeğer devresi

Fotovoltaik güneş panelinden elde edilen akım ve gerilime ait eşitlikler denklem (1)'de görülmektedir.

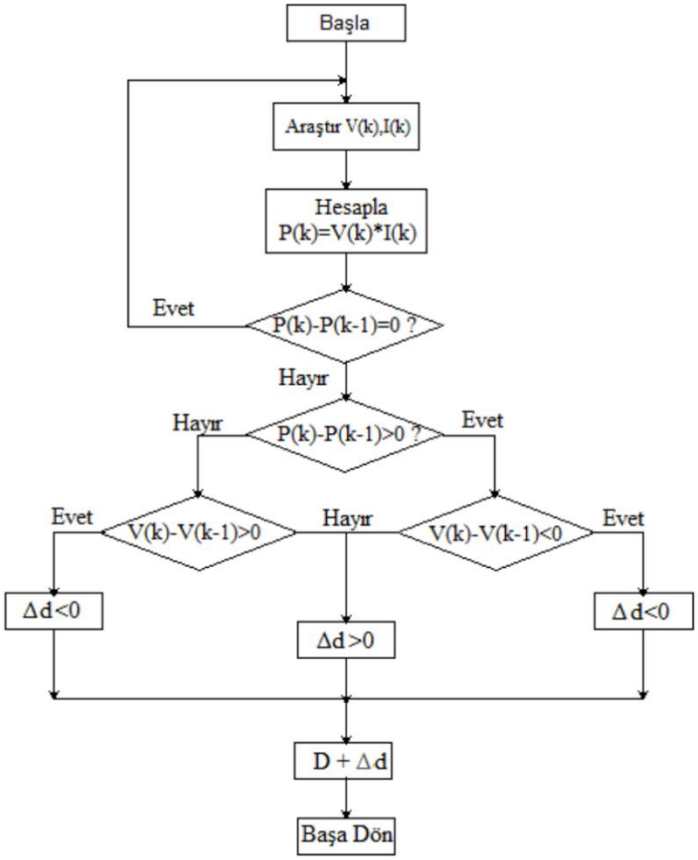
$$V_{pil} = \frac{A \times k \times T_{pil}}{e} \ln\left(\frac{I_{ph} + I_0 - I_{pil}}{I_0}\right) - R_S \times I_{pil} \quad (1)$$

Burada; I_{pil}: fotovoltaik güneş pilinin çıkış akımı (A), V_{pil}: fotovoltaik güneş pilinin çıkış gerilimi (V), I_{ph}: fotoakım, I_0: diyot ters doyma akımı (A), R_S: eşdeğer devrenin seri direnci (W), e: elektron yükü, k: Boltzmann sabiti, T_{pil}: referans çalışma sıcaklığı (°C), A: eğri uydurma faktörünü ifade etmektedir (Altas and Sharaf, 2007; Mengi ve Altaş, 2007).

2.2. Maksimum Güç Noktası İzleyici

Yaygın olarak kullanılan bir MGNİ tekniğidir. Değiştir ve gözle algoritmasının akış diyagramı Şekil 3'de görülmektedir. İlk önce fotovoltaik güneş panellerine ait akım ve gerilim bilgisi alınır. Bu bilgiler

kullanılarak panel gücü hesaplanır. Güç değişimleri kontrol edilir ve bir değişim yoksa geriye dönerek bu döngü tekrar icra edilir. Güç değerinde bir değişim varsa bu sefer gerilimde değişim olup olmadığı incelenir. Bu durumlara göre anahtarlama oranları değiştirilerek maksimum güç noktası tespit edilmeye çalışılır. Bu teknik ortam şartlarında ufak tefek sapmalar gösteren bir tekniktir. Basit ve etkin oluşu nedeniyle çokça tercih edilmektedir (Keskin ve ark., 2014).



Şekil 3. Değiştir ve gözle MGNİ tekniği akış diyagramı

2.3. Kıyıcılar

Kıyıcılar doğru gerilimi yine doğru gerilime çeviren dönüştürücülerdir. Anahtarlamalı mod kıyıcılar giriş gerilimini yükselten, azaltan, yükselten-azaltan ya da cuk tipinde olmak üzere 4 grupta toplanırlar. Benzetim çalışmasında azaltan tip kıyıcı kullanılmıştır. Şekil 4'de azaltan tip kıyıcının devre şeması görülmektedir (Kumar ve ark., 2020). Denklem (2) ile (5) arasında azaltan tip kıyıcıya ait temel denklemler görülmektedir:

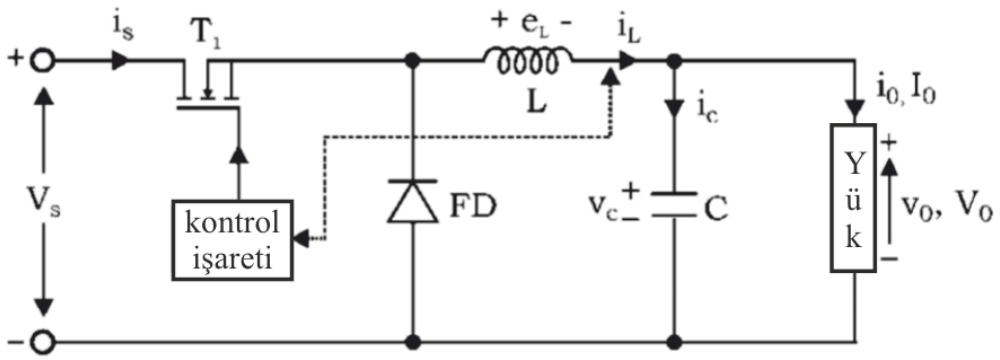
$$V_0 = \frac{T_{on}}{T}.V_S = \delta.V_S \quad (2)$$

$$\delta = \frac{T_{on}}{T} \quad (3)$$

$$T = T_{on} + T_{off} \quad (4)$$

$$I_S = \delta.I_0 \quad (5)$$

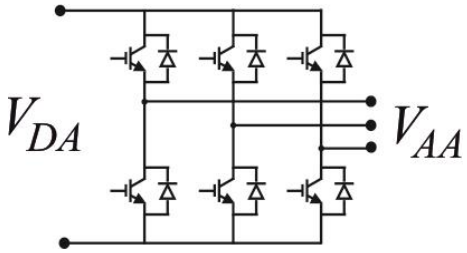
Burada; V_0 yük gerilimini (V), besleme gerilimi (V), T_{on} iletimde kalma süresi (sn), T_{off} kesimde kalma süresi (sn), T periyot (sn), i_s besleme akımı (A), i_0 yük akımını (A) ifade etmektedir.



Şekil 4. Azaltan tip kıyıcı

2.4. Evirici

Sistemde 2 seviyeli 6 IGBT'li 3 fazlı standart bir evirici kullanılmıştır. Şekil 5' de bu yapı görülmektedir. (Luo and Ye, 2013).



Şekil 5. İki seviyeli evirici

2.5. Kontrolörler

Endüstride en çok kullanılan kontrolörler PID kontrolörlerdir. Basit yapıları, mikrokontrolörlerde kolayca kullanılabilmeleri ve ayarlanabilmeleri nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedirler. Donanımsal olarak gerçekleştirilmeleri gerektiğinde kolayca işlemsel yükselteçler kullanılarak yapılabilmektedirler.

2.5.1. PID Kontrolörler

PID kontrolörler en sık kullanılan kontrolörlerdir. Oran, integral ve türev katsayılarının bir araya gelmesi ve bir çarpan ile çarpılarak toplanması neticesinde kontrol işaretini üreten sistemlerdir. Denklem 6'da PID kontrolörlerin denklemi görülmektedir.

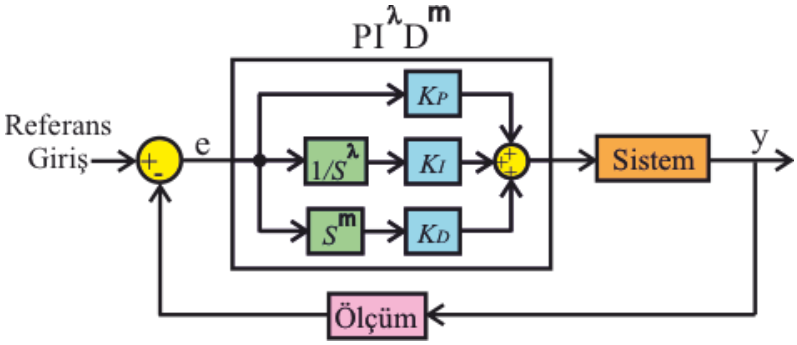
$$c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \tag{6}$$

K_P, K_I ve K_D katsayıları PID kontrolörlerin kazançlarıdır. Burada, U(s) is kontrol işareti ve E(s) de hata işaretidir (Dorf, 2014).

2.5.2. Kesir Dereceli PID Kontrolörler

Kesir dereceli PID kontrolörler PID kontrolörlerin gelişmiş ve daha hassas ayarlanabilen versiyonudur. Sırasıyla l integral ve m türev katsayıları ile hassas, kesir dereceli ayarlama imkanı sunar. Şekil 6'da kesir dereceli PID kontrolör ve yapısı görülmektedir. Kesir dereceli PID kontrolörlerin matematiksel eşitliği denklem 7'de görülmektedir (Tepljakov ve ark., 2011).

$$c(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_I}{s^{\lambda}} + K_D s^{\mu} \quad (7)$$

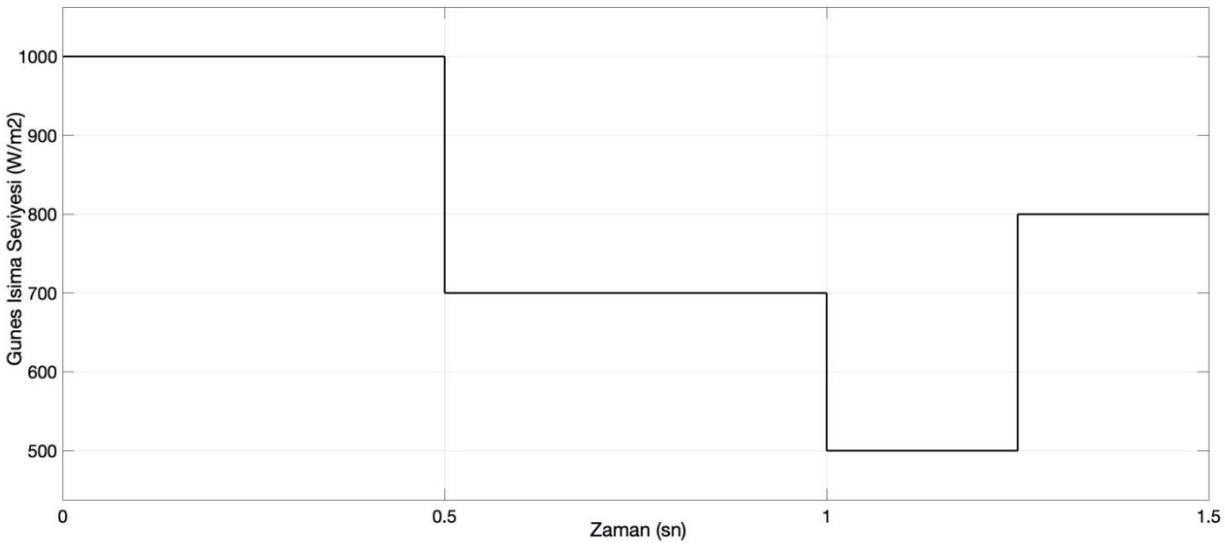


Şekil 6. Kesir dereceli PID kontrolör

3. Bulgular

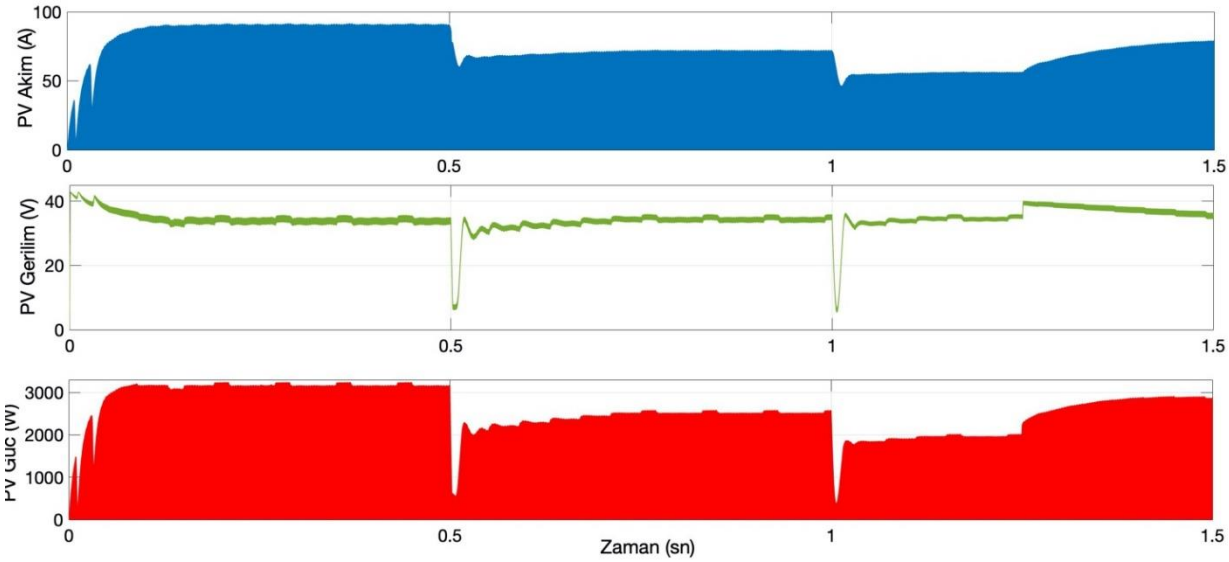
Kurulan sistem, fotovoltaik güneş panelleri, aküler, akü şarj cihazı, maksimum güç noktası izleyici, kıyıcılar, kontrolörler, evirici ve AA/DA yüklerinden oluşmaktadır. Fotovoltaik güneş panelleri 1600W gücündedir. Sistemde 4 adet akü bulunmaktadır. Maksimum güç noktası izleyici olarak değiştir ve gözle metodu kullanılmıştır. Aynı zamanda biri aküleri şarj etmek için diğeri çıkış gerilimini 12V değerinde sabit tutabilmek için 2 kıyıcı ile birlikte senkron olarak çalışmaktadır. Akü şarj devresinde çift yönlü senkron azaltan tip kıyıcı kullanılmıştır. DA yükleri ve evirici için ise azaltan tip kıyıcı kullanılmıştır. Evirici giriş gerilimi 12V, çıkış gerilimi ise 3 faz 380V/50Hz olarak yapılmıştır. Tarlanın sulamasını yapmak için 600W'lık bir adet dalgıç pompa/su pompası kullanılmıştır ve aydınlatma yükleri de bulunmaktadır. Sistemde kullanılan çok sayıda kontrolör ile hem kıyıcılar hem de evirici kontrol edilmeye çalışılmıştır. Kıyıcılar sabit 12V çıkış gerilimini sağlarken eviricide kullanılan kontrolörler ise 380V/50Hz değerinde yük gerilimini sabit tutmaya çalışmaktadır. Burada yük üzerindeki gerilimi sabit tutmak için PI ve kesir dereceli PI kontrolörler kullanılmıştır.

Şekil 7 ile Şekil 13 arasında benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar görülmektedir. Yapılan benzetim çalışmalarında ortam sıcaklığı 25°C'de sabit tutulmuştur. Ayrıca benzetimler ayrık zamanlı kontrol sistemlerinde yapılmıştır ve örnekleme zamanı 1msn alınmıştır. Şekil 7'de güneş ışıma seviyesinin değişimi gösterilmiştir. Bu şekilde farklı ışıma seviyelerinde sistem test edilmiştir. PI ve KPI denetleyiciler yük gerilim ve frekansını ayarlayan eviricinin içinde kullanılmışlardır. Yük üzerindeki gerilimi değişen ortam şartlarından etkilenmeden 380V/50Hz değerinde sabit tutmaya çalışmaktadırlar.

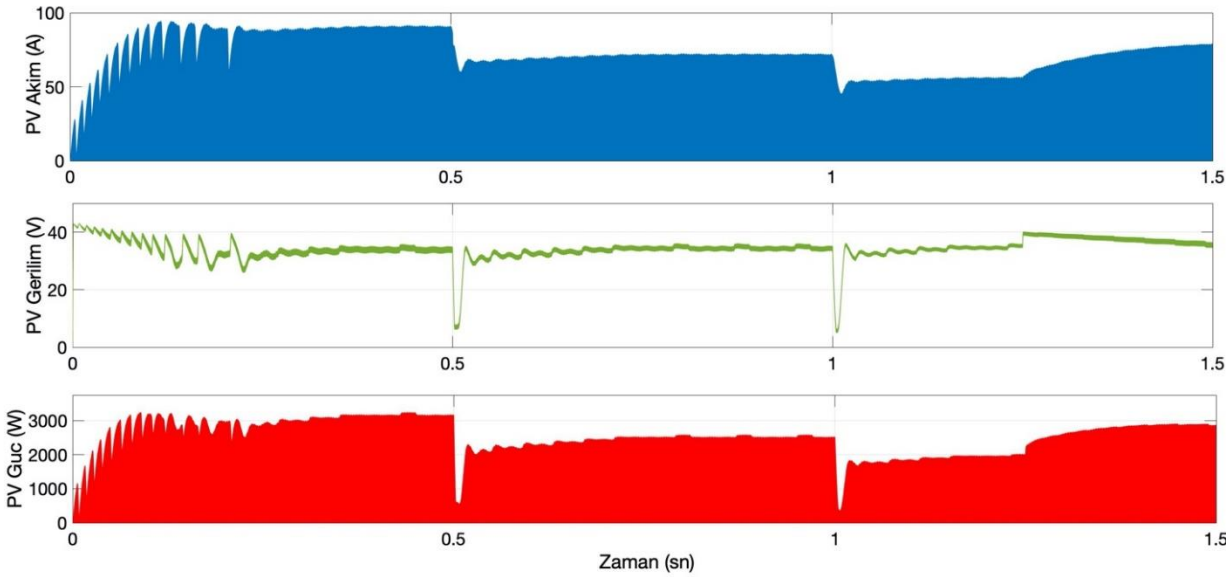


Şekil 7. Güneş ışıma düzeyinin zaman göre değişimi

Şekil 8 ve 9'da fotovoltaik güneş panellerinin akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. Ortam güneş ışığı seviyesinin değişmesi nedeniyle değiştiği noktalarda artma ve azalmalar bu grafiklerde net olarak görülmektedir. 0,5.sn-1.sn-1,25.sn zaman anlarında değişimler yaşanmıştır. Anahtarlamalar nedeniyle grafikler kesikli yapıdadır. Şekil 8 eviricide PI kontrolör kullanıldığı durumda elde edilen sonuçlardır. Şekil 9'da ise KPI kullanılmıştır.



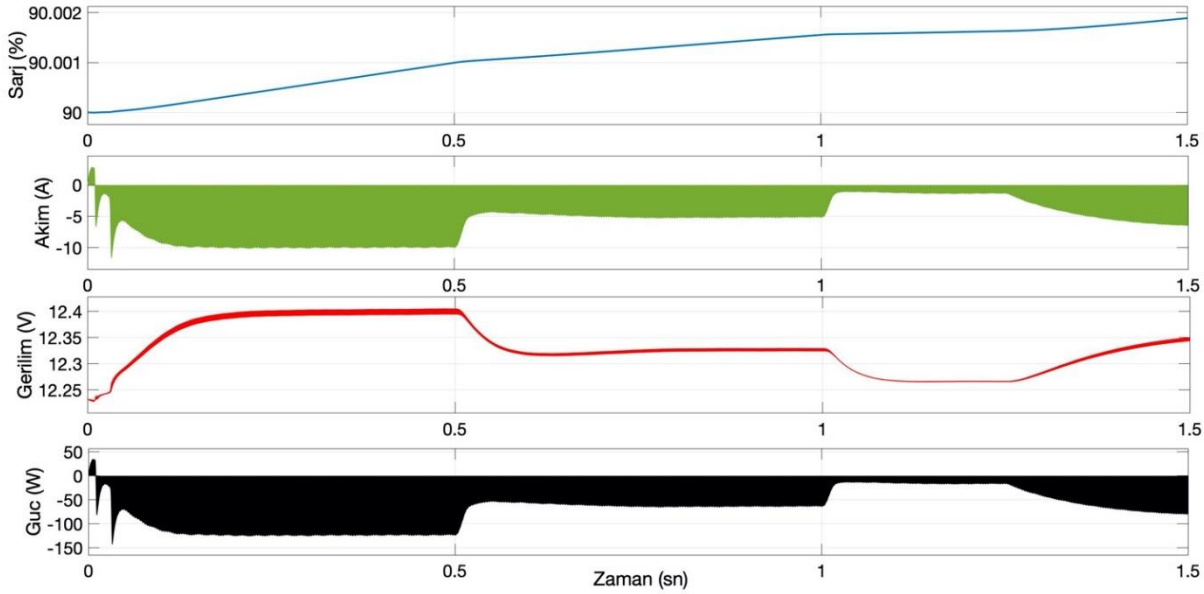
Şekil 8. PI kontrolörlü çalışmada güneş panellerine ait akım, gerilim ve güç değişimleri



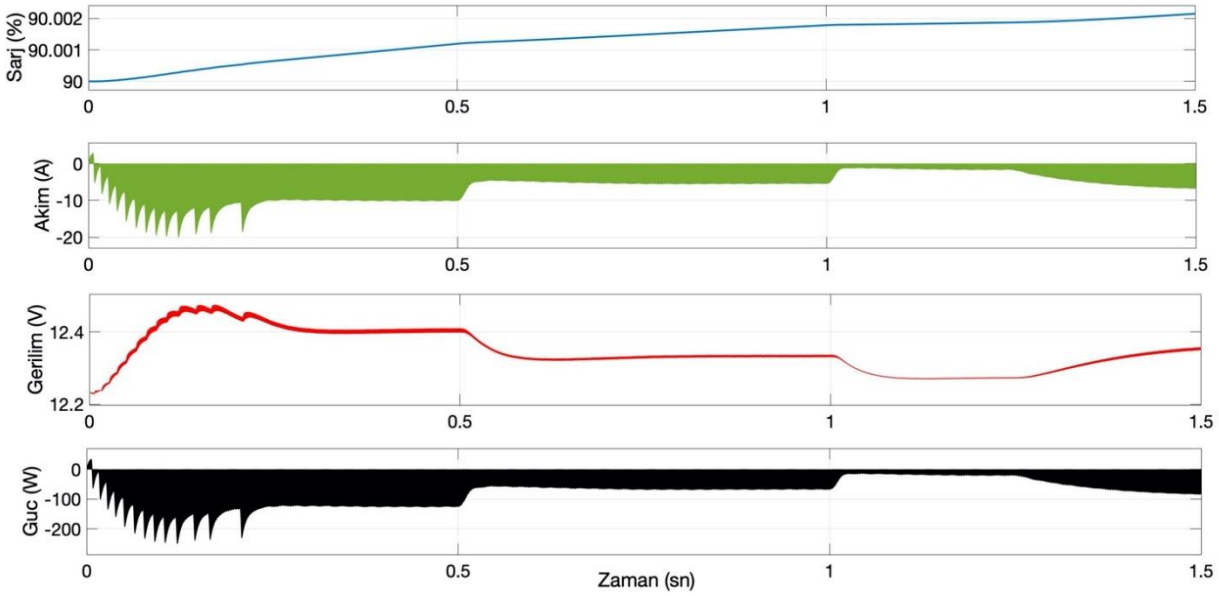
Şekil 9. KPI kontrolörlü çalışmada güneş panellerine ait akım, gerilim ve güç değişimleri

Şekil 10 ve 11'de tek bir aküye ait şarj yüzdesi, akım, gerilim ve güç değişimleri görülmektedir. Aküler %90 oranında şarjlı bulunmaktadır ve benzetim çalışmaları bu noktada başlamıştır. İlk başta aküler sisteme kısa bir zaman güç aktarırken daha sonra yükün az oluşu nedeniyle fazla enerji ile aküler doldurulmaya başlanmıştır. Bu seçim tamamen otomatik olarak kıyıcılardaki kontrolörler ve MGNİ tarafından ayarlanmaktadır. PI kontrolörler ile KPI denetleyiciler arasında farklar net olarak görülmektedir. PI ve KPI denetleyiciler sistemde yük üzerindeki gerilimi kontrol ederler. Ondan önce kullanılan kıyıcılar ve MGNİ de bu durumdan etkilenmektedir. Çünkü evirici giriş gerilimi DA'dır ve bu değer hem kıyıcılar hem de MGNİ tarafından ortam şartlarına göre değişmektedir. Dolayısıyla eviricinin

performansı hem giriş DA seviyesinin dengeli oluşuna hem de eviricinin iyi çalışmasına bağlıdır. Evirici de hem PI hem de KPI ile ayrı ayrı denetlenerek bu iki denetleyici karşılaştırılmaktadır.

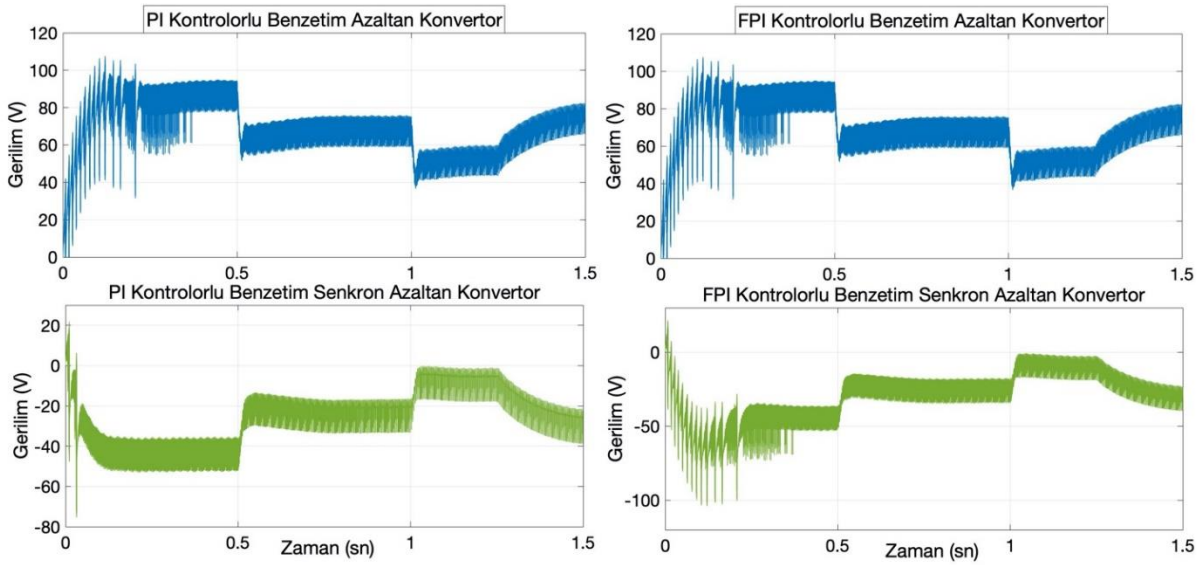


Şekil 10. PI kontrolörlü çalışmada bir tek aküye ait akü şarj durumu, akım, gerilim ve güç değişimleri



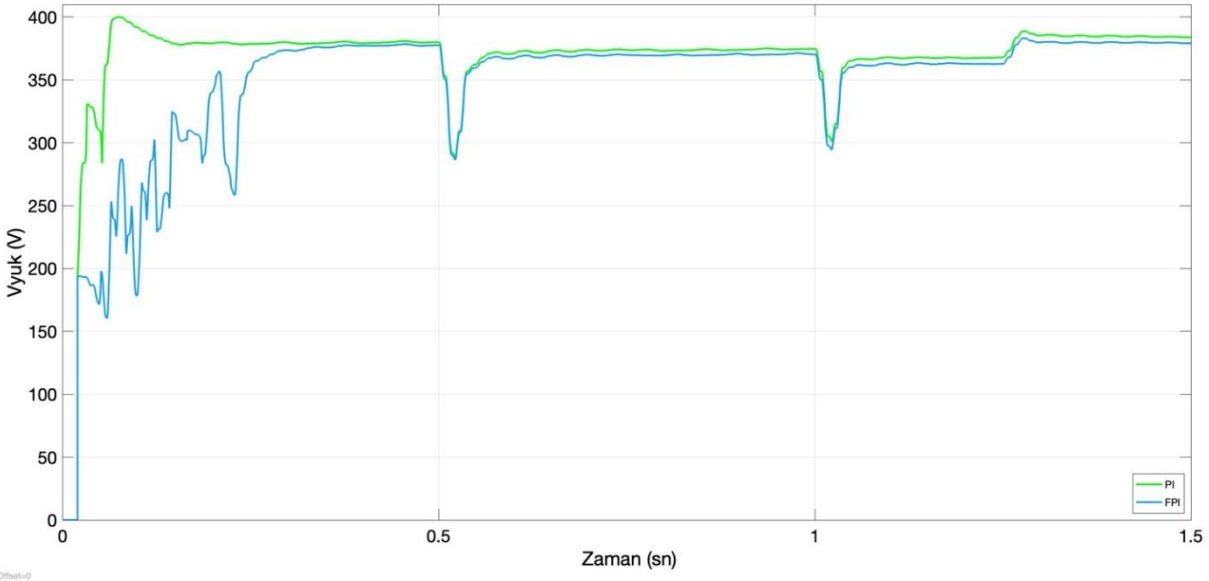
Şekil 11. KPI kontrolörlü çalışmada bir tek aküye ait akü şarj durumu, akım, gerilim ve güç değişimleri

Şekil 12'de eviricide PI ve KPI denetleyiciler kullanıldığında sistemde kullanılan kıyıcıların gerilim değişimleri görülmektedir. KPI kontrolörde 0-0.25sn zaman aralığında dalgalanmalar olduğu gözükmektedir. Bu dalgalanmalar sonradan azalmaktadır.



Şekil 12. Hem PI hem de KPI kontrolörlü sistemlerde kıyıcı gerilimleri

Şekil 13'de KPI ile PI denetleyiciler arasındaki net farklar ortaya çıkmaktadır. PI denetleyicide K_P=5, K_I=40 kazanç değerlerine sahiptir. KPI'da ise K_P=5, K_I=40 ve l=1,5 değerindedir. Buraya kadarki kısımda dolaylı etkiler gözlenirken burada net etkiler ortaya konmaktadır. Şekilde yük üzerindeki gerilimin değişimi görülmektedir. PI denetleyicide maksimum aşma bulunmaktadır ve bu değer 400V'a kadar çıkmaktadır. KPI'da ise maksimum aşma yoktur. Oturma zamanları dikkate alındığında 0,325sn anında KPI 380V değerine ulaşırken PI denetleyici ise 0,15sn anında oturmaktadır.



Şekil 13. Hem PI hem de KPI kontrolörlü sistemlerde yük üzerindeki gerilimlerin değişimi

4. Tartışma / Tartışma ve Sonuçlar

Hem PI hem de KPI denetleyiciler kullanılarak yük üzerindeki gerilimin sabit tutulmaya çalışıldığı bu çalışmada PI denetleyicinin KPI'dan daha kısa sürede 380V değerine oturduğu gözlemlenmiştir. KPI denetleyicide ise maksimum aşma gözlemlenmemiştir. Sistemin öncesinde evirici DA seviyesindeki dalgalanmaların evirici performansına etki ettiği gözlemlenmektedir. Her ne kadar evirici için kullanılan denetleyiciler eviriciyi ayarlasa da bu şekilde öncesine de etki edebildikleri görülmektedir. Bu tip durumlarda sistemin bir noktasının çok iyi çalışması sisteminde çok iyi çalışabileceği anlamına gelmemektedir. Sistemin bir bütün halinde çok iyi çalışması gerekmektedir. Dolayısıyla sistem en zayıf halkası kadar iyidir.

Bu tip çok fazla güç elektroniği çevirici düzeneğinin bulunduğu ve farklı noktalarda çok fazla kontrolör kullanıldığı durumda tüm bu kontrolörleri idare etmek için bir üst akıla ihtiyaç duyulduğu görülmektedir. Her sistem kendi içinde iyi bir şekilde çalışırken üst sistemde genel olarak iyi bir çalışmayı garanti edecek düzey ve akılda olması gerekmektedir.

Kontrolörlerin etkinliklerini arttırabilmek için doğru kazanç değerlerinin bulunması gerekmektedir. Sistemde kullanılan değerler önce ziegler-nichols ile hesaplanmış, daha sonra Matlab'ın içinde bulunan PID Tuner kullanılarak ayarlanmaya çalışılmıştır. Daha iyi değerler bulunabilir. Bunun için optimizasyon algoritmaları kullanılabilir. Daha iyi kontrolör parametre değerlerinin bulunması ile sistem performansı arttırılabilir.

Kaynaklar

Altas, I. H. and Mengi, O. O. (2010). A fuzzy logic controller for a hybrid PV/FC green power system, *International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems (IJRIS)*, 2(3/4), 176-183. https://doi.org/10.1504/IJRIS.2010.036863

Altas, I.H. and Sharaf, A. M. (2007). A Novel Photovoltaic On-Line Search Algorithim For Maximum Energy Utilization, *International Conference on Communication, Computer and Power (ICCCP'07)***.** Oman.

Bodele, N. and Kulkarni, P. S. (2020). A multi-input hybrid converter for small off-grid solar photo-voltaic system, 2020 IEEE First International Conference on Smart Technologies for Power, Energy and Control (STPEC), (ss. 1-6), India.
https://doi.org/10.1109/STPEC49749.2020.9297747

Dorf, R. C. (2014). *Modern Control Sytems*, USA, Pearson.

Engin, M. ve Çolak, M. (2005). Güneş-rüzgar hibrid enerji üretim sisteminin incelenmesi, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (2) , 225-230.

Haberlin, H. and Eppel, H. (2012). *Photovoltaics System Design and Practice*, John Wiley and Sons Ltd., UK.

Keskin, Y. E., Başoğlu, M. E., Tekdemir, İ. G. ve Çakır, B. (2014). Fotovoltaik sistemlerde değiştir ve gözle artan iletkenlik algoritmalarının karşılaştırılması. *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu (ELECO 2014)* (ss. 91-95). Bursa.

Krauter, S. (2006). *Solar Electric Power Generation*, Springer, USA.

Kumar, V., Behera, R. K., Joshi, D. and Bansal, R. (2020). *Power Electronics, Drives, and Advanced Applications*, CTC press, USA.

Luo, F. L. and Ye, H. (2013). *Advenced DC/AC Inverters*, CRC Press, USA.

Mengi O. Ö., ve Altaş İ. H. (2007). Fotovoltaik güneş pilleri için genel amaçlı bir Matlab/Simulink GUI modeli, *Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu (UMES'07)* (ss. 216-219). Kocaeli.

Özdemir, M. S., Dalcalı, A. ve Ocak, C. (2020). Akarsu tipi hidroelektrik sanralleri ve bu santrallerde kullanılan türbin generatörler, *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 69-75. https://doi.org/10.46387/bjesr.798387

Shen, D., Lim, C. C. and Shi, P. (2020). Fuzzy model based control for energy management ond optimization in fuel cell vehicles, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 69(12), 14674-14688. https://doi.org/10.1109/tvt.2020.3034454

Sierra-Garcia, J. E. and Santos, M. (2021). Improving wind türbine pitch control by effective wind neuro-estimators, IEEE Access,
https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3051063.

Tepljakov, A., Petlenkov, E. and Belikov, J. (2011). FOMCON: Fractional-order Modeling and Control Toolbox for MATLAB, *18th International Mixed Design of Integrated Circuits and Systems (MIXDES) Conference*, pp. 684-689.

Xiao, W. (2017). *PV Power System Modeling Design and Control*, John Wiley and Sons Ltd., USA.

Türkçe El Yazısı Karakterlerin Tanınmasına Yönelik Çalışmalar

Burçin NAZLI AKSÖZ*[1,a], Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÖZTÜRK[1,b]
[1] Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

Özet

Gelişen teknoloji ile El Yazısı Tanıma (EYT) uygulamaları gerek insan hayatını kolaylaştırması gerekse zaman anlamında kazanç sağlamasından dolayı araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. EYT gereksinimi birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. EYT, insan hayatını kolaylaştırırken bir yandan da insan etkileşimini azaltmaktadır.

Son yılların makine öğrenmesi alanında başarılı uygulamalarından biri olan Optik karakter tanıma (OCR), kâğıt üzerinde yer alan el yazısı ya da makine baskısıyla yazılmış verilerin taranmış dosyalar üzerindeki metin bilgilerinin veya karakterlerin okunarak bilgisayar tarafından tanınması ve buna göre düzenlenebilir bir metne dönüştürülmesi anlamına gelmektedir. Araştırmacıların birçoğu İngilizce, Arapça, Hintçe, Çince, Urduca ve Farsça dilleri üzerinde karakter tanıma işleminde OCR yöntemini ele almıştır. Bazı dillerin kendine has karakterler içermesi, bu dilleri kullanan araştırmacıları kendi alanlarında daha performanslı çalışabilecek OCR sistemleri tasarlama çalışmalarına yönlendirmiştir.

El yazısı ile yazılmış harf ve metinler çeşitli zorluklar içerebilir (eğik, bitişik yazılmış cümleler gibi). Bu şekildeki yazılarda herhangi bir standart biçiminin olmayışı el yazısı tanıma işlemini, basılı belgelerin aksine çözümlenmesi zor bir durum haline getirmektedir. 30 yılı aşkın bir süredir araştırmacılar el yazısı karakter tanıma çalışmalarını sürdürse de Türkçe el yazısı üzerine yapılan çalışmalar halen gelişme aşamasındadır. Kapsamlı bir Türkçe elyazması karakter veri tabanının bulunmayışı bu durumun en önemli sebeplerindendir.

Bu çalışma Türkçe karakterlerin, özellikle de el yazması karakterlerin otomatik tanınması üzerine yapılan çalışmaların bir derlemesini ve bu alanda ne gibi çalışmaların yapılabileceğini ortaya koymak için hazırlanmıştır.

Anahtar kelimeler: El Yazısı Tanıma, Optik Karakter Tanıma (OCR), Türkçe Karakter

*[a] Burçin NAZLI AKSÖZ; nazli.burcinn@gmail.com, Tel: (0544) 536 27 27, orcid.org/0000-0001-6053-7967
[b] orcid.org/0000-0002-8535-3088

1 - Giriş

Dünyanın en zengin dillerinden biri olan Türkçe, bugün 12 milyon kilometre karelik geniş bir coğrafyada kullanılmaktadır. Türkçe, morfolojik yapısı gereği yeni kelimeler üretmeye elverişli bir dildir. Türkçe'nin yüksek üretkenliği, karakter tanıma aşamasında farklı problemler yaratmaktadır.

Otomatik dil işleme uygulamalardan biri olan el yazısı karakter tanıma sistemleri insanların elle kâğıt üzerine yazdığı yazıların bilgisayarlar tarafından doğru ve güvenilir bir şekilde tanınması sürecini anlatır. El yazısı tanıma, zaman ve özellik uzayındaki değişkenliğe uyum sağlamak için doğru ve sağlam modeller gerektirir.

Akademik çalışmalarda olduğu kadar ticari alanda da el yazısı karakterlerin tanınması önemli bir araştırma konusu haline gelmiştir. Kuncan ve arkadaşları (2020) Yapay Sinir Ağları (ANN) kullanılarak A'dan Z'ye Türkçe el yazısı harf tanıma sistemi üzerinde bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma büyük harfler kullanılarak yazılmış el yazılarının optik tanınması amacıyla yapılmıştır **[1]**. El yazısı tanıma sistemleri yaygın olarak yapay sinir ağlarını kullanarak metin karakterlerini tanımaya çalışır. Erdem ve Uzun (2004), çalışmalarında Yapay Sinir Ağlarının (YSA) önemli bir uygulaması olan karakter tanıma sistemi için giriş vektörü olarak *Times New Roman* ve *Arial* yazı tipinde yer alan Türkçe karakterlerin büyük küçük harflerini ağa sunarak karakter algılama ve tanıma işlemi uygulaması yapmışlardır **[2]**.

Yapay sinir ağları yaklaşımında iki temel uygulama ön plana çıkmaktadır. İlki, el yazısını tamamen bir resim gibi algılayıp sonrasında onu uygun karaktere dönüştüren çevrimdışı (offline) tanıma sistemidir. Bu sistem aslında optik tanımlama sistemlerinin bir alt uygulaması olarak değerlendirilebilir. Fakat bu sistemler senkron bir şekilde etkileşime çok da uygun olmadığı ve yorumlama için güçlü bir altyapı gerektirdiğinden dolayı fazla tercih edilmemişlerdir. İkincisi ise, kullanıcıların yazı yazarken kalemle yaptıkları hareketleri yorumlayan ve böylece karakterleri başlangıç ile bitiş noktaları arasındaki izlenilen yola göre çevrimiçi (online) olarak tanımaya çalışan sistemlerdir.

Çevrimiçi tanıma kavramı, el yazısı girdiyi karakter, kelime veya satır düzeyinde yorumlama görevini kapsar. Çevrimiçi karakter tanıma basılı bir ortamdaki tüm karakterlerin aynı anda sayısallaştırılma işlemi olarak düşünülebilir. Bir sayısallaştırıcı ekipman tarafından yakalanan (tablet veya kalem özellikli akıllı telefonlar gibi) el yazısı karakterlerin koordinatları bir zaman serisi tarafından temsil edilir. Vural ve arkadaşları (2005), Türkçe için Tablet PC ortamında çevrimiçi yazı tanıma sistemi üzerinde çalışma gerçekleştirmişlerdir. Öncelikle çalışmalarında 50 farklı kelimeden oluşan sözlük dağarcığı belirlenmiş ve toplam 20 kişiden bu sözlük dağarcığındaki kelimelere karşılık gelen el yazısı verisi toplanarak 1000 kelimeden oluşan bir veri tabanı elde edilmiştir. Tablet PC yazı uygulaması için kullanıcıların, düz bir çizgi üzerine kelimeleri yazmaları istenmiştir. İkinci veri tabanı için elektronik posta mesajlarından derlenen 1000 farklı kelimenin yer aldığı bir sözcük dağarcığı belirlenmiştir. Sözcük dağarcığı Türkçeye özgü karakter içermesine ve sık kullanılan kelimelerden seçilmesine göre oluşturulmuştur. Böylece Tablet PC ortamında çevrimiçi yazı tanıma sistemi için iki farklı veri tabanı üzerinde çalışılmıştır. İki veri tabanı içinde harf ve kelime modellerindeki başarı oranı incelenerek eğitim ve test setindeki yazarların aynı olma durumu ve farklı olma durumları da göz önüne alınmıştır. Birinci veri tabanıyla harf ve kelime modellerindeki başarı oranı ele alınmıştır. Gizli Markov Modeli kullanan sistemin, eğitmede kullanılan kelime dağarcığı testte kullanılan dağarcıkla aynı seçildiğinde harf ve kelime modellerindeki performansları sırasıyla %97, %95'tir. İkinci veri tabanıyla kelime modellerindeki başarı oranı incelenmiştir. Gizli Markov Modelini eğitmekte kullanılan sözcükler ve yazarları testte kullanılan sözcükler ve yazarları birbirinden tamamen farklı seçilmesi eğitim ve test kelimelerinin örtüşmemesi kelime modeline uygun bir yapıya ulaşabilmek için harf modeli ele alınmıştır. Bu çalışma sonucunda başarı oranı %90,4 olarak bulunmuştur **[3]**.

El yazısıyla yazılmış belgeler, elle yazıldıkları için belirli bir standarda uymazlar. El yazıları içerisindeki sorunların ana kaynakları, farklı insanların birbirinden farklı karakterleri ve kelimeleri nasıl yazdığı ve kişinin el yazısının zaman zaman nasıl değiştiği gibi teknik özelliklerdir. El yazısı karakterlerin kalitesi, başarı düzeyini etkileyen çok önemli bir faktördür. Çevrimdışı tanımanın aksine çevrimiçi tanıma da karakter örüntüsü, vuruş sırası ve bağlantı bilgilerini kullanabilme gibi önemli bir avantaja sahiptir.

Elle yazılmış Türkçe karakterlerin tanınması, özellikle noktalama işareti içeren bazı ilave harfler sebebiyle İngilizce alfabedeki karakterlerin tanınması açısından daha zor bir problemdir. Yanıkoğlu ve Kholmatov (2003), İngilizce karakterlerin tanınması için eğitilmiş bir OCR sistemi üzerinden karakterlerin tanınması işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ana sözlük yöntemine ve yazma tipine göre kelime tanıma performansının %53 ile %57 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir **[4]**.

2 - Optik Karakter Tanıma (OCR) Sistemleri

Taranmış belgelerin içinden karakterlerin ve verilerin metin formatına dönüştürülmesi zaman ve işgücü kaybına sebep olmaktadır. Bundan dolayı taranmış belgedeki verilerin türlerinin düzenlenebilir ve aranabilir verilere hızlı ve doğru bir şekilde dönüştürülmesinde OCR sisteminden yararlanılır. OCR, giriş verilerini makine tarafından kodlanmış verilere dönüştüren bir tanıma sistemidir. Bir başka deyişle görüntü formatındaki bir belgenin (taranmış belgelerin) tanınması veya okunması olarak da adlandırılabilir.

Karışık arka plan, farklı boyut, stil ve konumlarda olan el yazısı karakterlerinin OCR yöntemi kullanılarak düzenlenebilir biçime dönüştürülebilir. Kısaca OCR olarak ifade edilen çalışmalar, bilgisayar ortamında hazırlanan ve bilinen yazı stilleriyle oluşturulan belgelerin resim içinden karakterlerinin tanınması ve yazıya dönüştürülmesidir. El yazısı tanıma ise OCR'nin daha genel bir versiyonu olarak düşünülebilir.

OCR ile yalnızca el yazısı verileri değil aynı zamanda makine baskısı ile yazılmış belgeler de dijital formata dönüştürülebilir. Genel itibariyle OCR sistemleri bir sınıflandırma sistemi oldukları için bu sistemlerindeki başarı ön işleme, özellik çıkarma ve sınıflandırma algoritmalarına bağlıdır. Ön işleme algoritmaları, özellik olarak seçilecek unsurları daha ayırt edilebilecek hale getirmek için gerekli işlemleri kapsar. Başka bir deyişle, eğik veya bitişik yazılan verilerin ya da soluk taranmış yazıların net bir şekilde tanımlanmasında tanıma motoruna kolaylık sağlar. Ön işleme adımlarına örnek olarak, binarizasyon, segmentasyon, boyut normalleştirme ve iskeletleştirme olarak sayılabilir.

İkinci olarak özellik çıkarma yöntemleri, ikili (binary) görüntüden tanımlanacak ayırt edici karakter noktalarını belirlemeyi kapsar. Bu ayırt edici özellikler şekil, boyut gibi özellikler olabilmektedir.

Sınıflandırma, karakter tanıma sisteminin karar verme aşaması olarak ele alınabilir. Sınıflandırma, test ve eğitim aşamasından oluşur. Bir kez özellik uzayı oluşturulduğunda, eğitim aşamasına geçilir.

OCR yöntemi ilk olarak satış raporlarının bilgisayar sistemine aktarılmasında 1955 yılında kullanılmaya başlanmıştır. OCR'nin bir alt alanı olarak, el yazısı OCR giderek popülerleşme göstermektedir. 1940'lı yıllarda gelişen OCR, zaman içerisinde teknolojinin ilerleyişiyle beraber hem basılı hem de el yazısı karakterleri tanıma da ilerleyiş göstermiştir. 1965 yılında el yazısı numaraları okuyabilen ilk optik karakter okuyucu New York'taki "dünya fuarında" "IBM 1287" adıyla tanıtıldı.

1970'li yıllarda yapılan çalışmalar OCR sisteminin yanıt süresi ve performansı üzerine yoğunlaştırıldı.1980 ve 2000'li yıllar arasında eğitim enstitülerinde ve özellikle nüfus sayımında **[5]**, metalik çubukların damgalı kısımlarında yer alan karakterlerin tanınması **[6]** amacıyla geliştirildi.

2000'li yılların başlarından itibaren tarihi belgelerinin dijitalleştirilmesi üzerinde yoğunlaşılarak, araştırmacılar için bilgiye ulaşım kolaylığı ve bilgilerin korunması amacıyla binarizasyon teknikleri geliştirilmiştir **[7]–[8][9][10].**

2000'li yılların ortalarına doğru görme engelli veya benzeri engelleri olan insanların okuma ve yazma hususunda yardımcı olması maksadıyla Akıllı Karakter Tanıma (Intelligent Character Recognition, ICR) yöntemi üzerinde çalışmalara yer verilmiştir. Tarihsel belgelerde yapılan binarizasyon çalışmalarında yazdırma gürültüsü ve değişken satır aralıkları, standart yazı tiplerinin olmayışı vb. gibi zorluklar yer almaktadır.

2.1 - Türkçe El Yazısı OCR Sistemleri

El yazısı karakter tanıma sistemi genel olarak karakter verilerini resim olarak alan, tasarlandığı tekniğe göre bir algoritmada çalıştırılan ve olasılıklı sonuç içeren bir dijital metin tanıyıcısıdır. Tanıma modülünün sonuçlarını iyileştirmek amacıyla bir dil modeli kullanılmalıdır. Bir tanıyıcı sadece kelime haznesindeki kelimeleri tanıyabilir. Kelimelerin sayısı arttıkça tanıma hızı ve performansı düşer. Kelimenin doğruluğunu tahmin etmek için bir sözlük kullanılarak anlamsız harflerin seçilmesi engellenir ve yanlış tanımlanan kelimelerin düzeltilebilmesi sağlanmış olur. Şekerci ve Kandemir (2006), yapmış oldukları çalışmada büyük ve küçük harf içeren karakter örneklerinin yer aldığı bir veri tabanı oluşturmuştur. Karakter tanıma aşamasında K-NN sınıflandırma yönteminden yararlanmıştır. Sınırlı sayıda kelimenin yer aldığı bir sözlük kullanılarak doğrulama aşaması gerçekleştirilmiştir. Önerilen el yazısı tanıma sisteminde ayrık yazılan kelimeler üzerinde yapılan çalışmada %100 'lük bir başarı oranı elde edilirken kullanılan sözlükteki kelime sayıları, bağlı ve bitişik yazılan yazılar bu çalışmanın dışında tutulmuştur **[11]**.

Kişiden kişiye yazım farklılıklarının oluşu ve harflerin birbirine bitişik veya eğik yazılmasından dolayı el yazısı tanımada belli zorluklarla karşılaşılmaktadır. Ayrıca Türkçenin yüksek üretkenliğinden kaynaklanan ve eklemeli kelime yapısına sahip olması da bu zorluğu arttırmaktadır. El yazısındaki bu zorluklar üzerine Şekerci ve Kandemir (2009) ele aldıkları çalışmada Visual Basic ortamında çevrimdışı olarak çalışan birleşik ve eğik yazılan Türkçe el yazısını tanıyan sistem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistem, yazı üzerindeki gürültülerin temizlenmesi, satırların ve kelimelerin ayrıştırılması, karakter ve kelime tanınma aşamalarına yer verilmiştir. Karakter tanıma aşamasında korelasyon yöntemi kullanarak, k-NN (k-en yakın komşuluk) sınıflama yöntemi ile tanıma oranı arttırmışlardır. Ayrıca kelime tanıma aşamasında farklı tür kitaplardan rastgele seçilmiş 2500 kelime içeren bir sözlük kullanılarak anlamsız harf gruplarının seçilmesi engellenmiş ve yanlış kelimelerin düzeltilmesi sağlanmıştır. Çalışmadaki karakter tanıma performansı %90,5 iken kelime tanıma performansı %84 olarak elde edilmiştir. Kelime tanıma performansının düşük olması çalışmada yer verilen sözlükteki kelime sayısının sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır **[12]**.

Son yıllarda, el yazısı karakter tanıma konusunda yapılan çalışmalarda oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş olsa da özellikle Türkçe el yazısı karakterlerin tanınması için halen kapsamlı bir çalışma mevcut değildir. Türk alfabesinin İngiliz ve Latin alfabesiyle birçok benzer karakter içermesi araştırmacılara el yazısıyla yazılan karakterlerin tanınmasında kolaylık sağlamıştır.

Taşdemir (2018) çalışmasında İngiliz ve Latin alfabeleri için kullanılan veri tabanı sistemini, Türk alfabesinde yer alan benzerlikleri ele alarak Türkçe el yazısı tanıma için kullanmıştır. Böylece gelişmiş bir Türkçe veri tabanı üzerinde el yazısı tanıma işlemi gerçekleştirmiştir. Saklı Markov Modelleri kullanılarak orta ölçekli bir dağarcıkla tasarlanan ve daha sonra büyük dağarcıkla çalışır hale getirilen sistem önişleme, öznitelik çıkarma, optik modelleme ve dil modelleme aşamalarından oluşmaktadır. Türkçe alfabesinin, Latin alfabesi kullanan diğer yazı sistemleri ile benzerlikleri, şu zamana kadar yer verilmiş olan birçok tekniği Türkçe alfabesi için de kullanılabilir kılar. Fakat, Türkçe dilinin yapısı gereği gecikmeli vuruş ve fazla sayıda dağarcık dışı kelimenin var olması tanıma işlemini güçleştirmiştir. Tanıma sisteminin çözümlenme aşamasında kelime altı birimler ve N-gram istatiksel dil modelleri kullanılarak dağarcık dışı kelimelerin tanıma başarısına olan olumsuz etkinini giderilmesi sağlanmıştır. Kelime-altı birimlerin kullanılması ile %67,9 tanıma başarısı elde edilmiştir **[13]**.

3 - Sonuçlar

Araştırmacıların günümüze kadar yapmış olduğu çalışmalardan elde edilen sonuçlar kapsamında makine baskısı tanıma oranı her zaman el yazısıyla yazılan yazıların tanıma oranından daha yüksektir. Makine baskısı karakterlerdeki değişiklikler yalnızca font stili ve ebatından kaynaklı olmasına rağmen el yazısıyla oluşturulan karakterlerde bu çeşitlilik neredeyse sonsuzdur.

El yazısı kullanılarak yazılan hiçbir yazı birbirinin aynısı değildir. Hiç kimsenin el yazısı birbirine benzememektedir. Hatta aynı kişinin aynı karakterleri, farklı zaman ve yerde yazması dahi el yazısındaki karakterlerin farklılığını etkileyen faktörlere sebep olmaktadır. Karakterlerin büyüklüğünde değişime

sebep olduğu gibi şeklinde de değişime sebep olmaktadır. El yazısı kullanan kişinin bulunduğu ortam, sağlık durumu, moral durumu hatta yazıyı yazdığı yer bile yazının şekline etkendir.

El yazısı tanımanın tam olarak çözülememiş bir problem olmasında tanıma sistemindeki karakterlerin tanınabilmesi için görüntüde yer alan belirsizliklerin (birleşik ve eğik el yazısı örnekleri, görüntü kalitesindeki verimsizlik gibi durumlar) minimize edebilmesi gerekmektedir. Bu gibi durumlar el yazısı karakter tanımayı zorlaştıran etkenlerdendir.

4 - Değerlendirmeler

Yapılan araştırma sonucunda Türkçe el yazması yazılar için sınırlı sayıda (11 tane makalede) OCR yoluyla karakter tanıma çalışmasına ulaşılabilmiştir. Bu bildiride bu zamana kadar Türkçe elle yazılmış ya da makine baskısı kullanılarak yazılan çalışmaların OCR yöntemiyle tanınmasında karşılaşılan problemler, önerilen çözüm yöntemleri ve halen çözülememiş problemler tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca yapılan tüm araştırma kapsamında el yazısı karakter tanıma konusunda yapılan çalışmalarda özellikle İngiliz alfabesine yönelik oldukça iyi sonuçlar elde edilmiş olmasına rağmen Türkçe el yazısı karakterlerin tanınması için halen yeterli çalışmanın mevcut olmadığı sonucuna varılmıştır. Diğer taraftan kapsamlı bir el yazısı veri tabanının olmayışı da makine öğrenmesi ile karakter tanıma çalışmalarının önünde bir engel olarak durmaktadır.

Kaynaklar

[1] M. Kuncan, E. Vardar, K. Kaplan, and H. M. Ertunç, "Turkish handwriting recognition system using multi-layer perceptron",Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering, vol. 1, no. 2, pp. 41–52, Nov. 2020.

[2] O. A. ERDEM ve E. UZUN, "Yapay sinir ağları ile Türkçe times new roman, arial ve el yazısı karakterleri tanıma", Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 20, No 1, 13-19, 2004.

[3] E.Vural, H.Erdoğan , K.Oflazer , "Yanıkoğlu BA. Türkçe için çevrimiçi el yazısı tanıma sistemi ", Içinde:Belge Tanıma ve Alma XII DRR; 16-20 Ocak 2005; San Jose, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri. s. 56-65,2005.

[4] B.Yanıkoğlu , A. Kholmatov, " Türkçe el yazısı metin tanıma:bir ağartıl dil vakası", Içinde: Belge Tanıma ve Alma X DRR; 22-23 Ocak 2003; Santa Clara, Kaliforniya, Amerika Birleşik Devletleri. s. 227-233.

[5] R. A. Wilkinson, J. Geist, S. Janet, P. J. Grother, C. J. Burges, R. Creecy, et al., "The first census optical character recognition system conference", vol. 184, 1992.

[6] Z. M. Kovács-V, "A novel architecture for high quality hand-printed character recognition", *Pattern Recognit.*, vol. 28, no. 11, pp. 1685-1692, Nov. 1995.2

[7] C. Wolf, J.-M. Jolion and F. Chassaing, "Text localization enhancement and binarization in multimedia documents", *Proc. Object Recognit. Supported User Interact. Service Robots*, vol. 2, pp. 1037-1040, 2002.

[8] B. Gatos, I. Pratikakis and S. J. Perantonis, "An adaptive binarization technique for low quality historical documents", *Proc. Int. Workshop Document Anal. Syst.*, pp. 102-113, 2004.

[9] J. He, Q. D. M. Do, A. C. Downton and J. H. Kim, "A comparison of binarization methods for historical archive documents", *Proc. 8th Int. Conf. Document Anal. Recognit. (ICDAR)*, pp. 538-542, 2005.

[10] T. Sari, L. Souici and M. Sellami, "Off-line handwritten Arabic character segmentation algorithm: ACSA", *Proc. 8th Int. Workshop Frontiers Handwriting Recognit.*, pp. 452-457, 2002.

[11] M.Sekerci, R. Kandemir, "Sözlük Kullanarak Türkçe El Yazısı Tanıma", ELECO, 2006.

[12] M.Şekerci, R. Kandemir, "Birleşik ve eğik türkçe el yazısı tanımada k-nn sınıflama yöntemi ve sözlük kullanımı", Trakya University J Sci, 10, 1, pp. 97–102, 2009.

[13] E. F.B. Taşdemir, A.B. Y. Yeşilyurt, " Subleksik birimlerle çevrimiçi Türkçe el yazısı için büyük kelime tanıma", Türk Elektrik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimleri Dergisi, Cilt 26, Sayı 5, 2018, s. 2218-2233.

Raylı Sistem Elektrifikasyonu Katener Sistemlerinde Pandül Verilerinin Yapay Sinir Ağları ile Tasarlanması

Alirıza ATAM*[1,a], Seçkin ULUSKAN[2,b]
[1]*Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Raylı Sistemler Mühendisliği, 26555, Eskişehir*
[2] *Eskişehir Teknik Üniversitesi, Ulaştırma Meslek Yüksekokulu, Raylı Sistemler Elektrik ve Elektronik Prog. 26140, Eskişehir*

Öz

Bu çalışmada, raylı sistemlerde pandül boyları verisinin yapay sinir ağları ile elde edilmesi ele alınmıştır. Demiryolu taşıma sistemlerinde elektrikli işletmeciliğin yapılabilmesi için; enerji iletim hatları, trafo merkezleri ve bunların kumanda ve kontrol birimlerinden oluşan elektrifikasyon olarak adlandırılan sisteme ihtiyaç vardır. Elektrik enerjisi ile çalışan tren setlerinde pantografın temas ederek enerji aldığı seyir telleri, sürekli temas telleri olduklarından ray üstünden yüksekliklerinin her noktada aynı olması sağlanmalıdır. Seyir tellerini belirlenen yükseklikte sabit tutabilmek için seyir telinin üzerinde aynı hizada giden bir taşıyıcı portör teli tesis edilir ve pandül adı verilen ara bağlantı elemanlarıyla seyir teli portör teline asılır. Pandüllerin; taşıyıcı telin sehimi, seyir telinin sehimi, tellerin gerginliği vb. değişkenlere göre konumlarının ve boylarının titizlikle belirlenmesi gerekmektedir. Pandül hesapları önceleri manuel belirlenirken, günümüzde bazı firmaların geliştirdiği pahalı bazı yazılımlar ile hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada özgün bir yaklaşım olarak, pandül verilerinin elde edilebilmesi için daha önceki projelerde kullanılan pandül verileri aracılığıyla Matlab® yazılımı ile yapay sinir ağları eğitilmiştir. Böylelikle, test verileri ile yapılan incelemede pandül boylarının otomatik olarak yüksek bir doğruluk seviyesinde hesaplanabildiği gözlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Raylı Sistemler, Demiryolu Katener Sistemleri, Elektrifikasyon, Pandül Hesaplamaları, Yapay Sinir Ağları

Designing Dropper Data with Artificial Neural Networks in Railway Electrification Catenary Systems

Abstract

In this study, determining data of dropper lengths in rail systems by means of artificial neural networks is discussed. Electrification systems consisting of energy transmission lines, traction power substations and their command and control units are required to operate electrical railway systems. It should be ensured that the heights of contact wires which the pantograph constantly contacts should be the same at every point of the line. In order to keep the contact wires stable at a specific height, a messenger wire which runs in the same line but above of the contact wire is installed. The contact wire is hung on the messenger wire with intermediate connection elements called dropper. The heights and locations of droppers should be carefully determined according to the deflection of the contact wire and the messenger wire, tensions of the both wires etc. While previously, the dropper heights were determined manually, they can be recently calculated with a few special software developed by some companies. In this study, as a new approach, artificial neural networks were trained with Matlab® software by means of the dropper data from previous railway projects in order to be able to produce new dropper data. Finally, after the analysis with a test data, it has been observed that the dropper lengths can be calculated automatically with a high accuracy.

Keywords: Rail Systems, Railway Catenary System, Electrification, Dropper Calculations, Artificial Neural Networks

1. Giriş

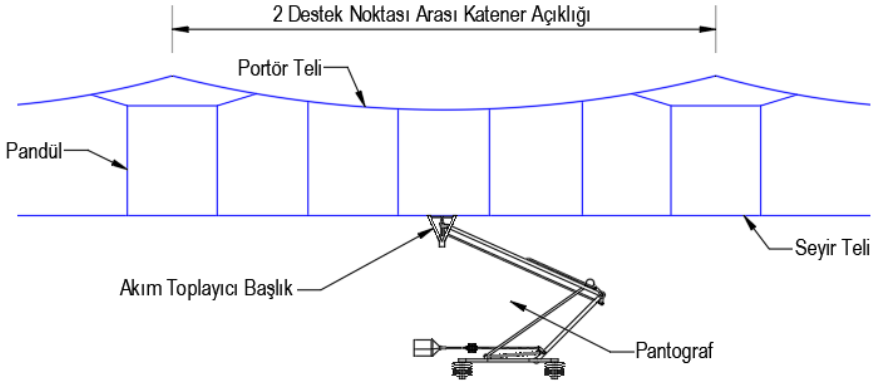
Elektrikli demiryolu işletmeciliğinde tren setinin enerjilendirilmesi; trafo merkezleri aracılığıyla istenilen seviyelere ayarlanan gerilimlerle beslenen iletim hatlarından, tren setinin pantografı vasıtasıyla enerjinin alınarak çekiş mekanizmalarına iletilmesiyle olmaktadır. Tüm bu sistemler ve bu sistemlerin kumanda ve kontrol mekanizmalarını da içeren sistemlere elektrifikasyon sistemleri denilmektedir. Sistemin çalışma mantığı değişmemekle birlikte, işletmeciliğin yapılacağı konuma ve amaca uygun olarak alt sistemler proje bazlı tasarlanır. Örneğin; şehir içinde enerjiye ulaşım kolaylığı bulunduğu ve nispeten kısa mesafelerde ulaşım yapıldığından dolayı genelde enerji iletiminde doğru akım kullanılırken, şehirlerarası yapılan işletmeciliklerde enerjinin daha az kayıpla uzak mesafelere taşınabilmesi için alternatif akım kullanılmaktadır. Şehir içi metro hatlarında enerji iletim sistemi olarak genellikle ray seviyesine tesis edilen 3. ray sistemleri veya rijit katener sistemleri kullanılırken, daha çok yer üstünden giden ve dolayısıyla atmosferik etkilere daha çok maruz kalan tramvay ve şehirlerarası tren hatlarında iletim sistemi olarak standart katener sistemleri kullanılır.

Elektrik enerjisi ile çalışan tren setlerinde, pantografın sürekli temas ederek enerji aldığı seyir tellerinin ray üstünden yüksekliklerinin her noktada aynı olması sağlanmalıdır. Aksi durumda, yüksek hızlarda telin fazla salınım yapmasına ve bu salınımlar sonucu tel kopmalarına sebebiyet verebilir. Bu nedenle seyir tellerinin ray üstünden yüksekliğinin sabit tutulması kritik öneme sahiptir. Seyir tellerini belirlenen yükseklikte sabit tutabilmek için; seyir telinin üzerinde aynı hizada giden ve seyir telinin asılı olduğu taşıyıcı portör telleri tesis edilir. Pandül adı verilen ara bağlantı elemanlarıyla seyir teli bu portör teline asılır. Pandüllerin; taşıyıcı telin sehimi, seyir telinin sehimi, tellerin gerginliği vb. değişkenlere göre konumlarının ve boylarının titizlikle belirlenmesi gerekmektedir. Pandül verilerinin hesaplanması, modellenmesi, simülasyonlara dahil edilmesi, malzeme ömürlerinin belirlenmesi çeşitli geometrik hesaplamalar, çoklu diferansiyel denklemlerin çözümü vb. karmaşık hesaplamalar içerebilmektedir (Benet v.d. 2013; Chen v.d. 2018).

Raylı sistemler tesisleri için pandül hesapları önceleri manuel belirlenirken, günümüzde bazı firmaların geliştirdiği pahalı bazı yazılımlar ile hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada özgün bir yaklaşım olarak, pandül verilerinin elde edilebilmesi için daha önceki projelerde kullanılan pandül verileri aracılığıyla Matlab® (The MathWorks, Inc., 2014b) yazılımı ile yapay sinir ağları eğitilmiştir. Böylelikle, test verileri ile yapılan incelemede pandül boylarının otomatik olarak yüksek bir doğruluk seviyesinde hesaplanabildiği gözlenmiştir. Bu çalışmada ilk olarak katener sistemleri kısaca tanıtılmıştır. Daha sonra yapay sinir ağlarının çalışma prensiplerine değinilmiştir. Son olarak, pandül verilerinin hesaplanabilmesi için yapay sinir ağlarının eğitilmesi ve eğitilen yapay sinir ağlarının test edilmesi anlatılmıştır.

2.Katener Sistemleri ve Pandüller

Bu kısımda, pandül kavramının açıklanabilmesi için katener sistemlerine yönelik açıklayıcı bilgiler sunulacaktır. Elektrik enerjisi ile çalışan lokomotif ya da dizinin, pantografı vasıtasıyla enerji aldığı, iletken teller ve onların işlerliğini sağlayan diğer bileşenlerden oluşan havai iletim hatlarına katener sistemleri denir. Katener sistemleri kendi içinde rijit katener sistemleri ve standart katener sistemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Her iki sistemde de tren hızından bağımsız olarak pantograf, iletkene belirli bir temas kuvvetiyle mekanik olarak temas eder ve akım pantografın sürtünen yüzeyi vasıtasıyla tren setine iletilmiş olur (Zdziebko v.d. 2019). Temas kuvveti, akım yoğunluğunu sınırlayacak kadar yüksek, aşırı aşınmayı önleyecek kadar düşük ve mümkün olduğunca değişmez olmalıdır. Böylece ne akım yoğunluğu ne de aşınmanın tasarım sınırlarından uzaklaşmasının önüne geçilir (Bautista v.d. 2016). Şekil 1'de, havai iletim hattı ve belirli bir temas kuvvetiyle iletkene mekanik olarak temas eden pantograf gösterilmiştir.



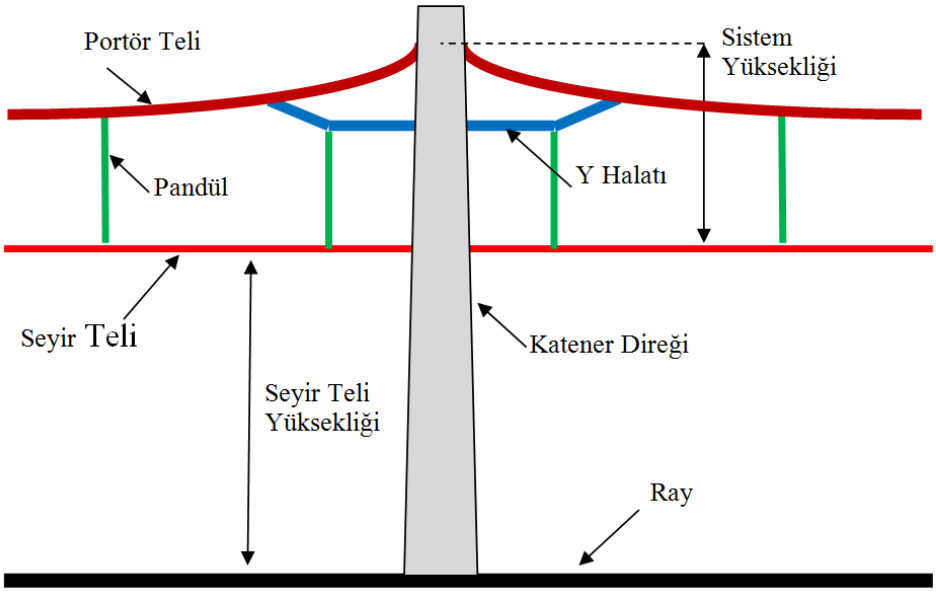
Şekil 1. Standart katener sistemi ve pantograf

2.1.Standart Katener Sistemleri

Standart katener sistemleri, hattın belirli noktalarına tesis edilen destek noktaları (direkler, portallar, şezler), bu destek noktalarının ankrajları ve yine bu destek noktalarına asılan katener iletkenlerinden oluşur. Tren seti, pantografın temas teline sürekli temas etmesi yolu ile enerjilendirilir.

2.1.1.Katener İletkenleri

Katener iletkenleri, destek noktasına, konsol-hoban takımları vasıtasıyla pantografın geçişine uygun şekilde istenilen noktalardan sabitlenerek, trene enerji iletilmesini sağlayan genellikle alaşımlı bakırdan oluşan iletken tellerin genel adıdır. Katener iletkenleri kendi ağırlıkları ve mevsim geçişlerindeki genleşme ve büzüşmelerden dolayı sarkma ve gerilme eğiliminde olduklarından mekanik bir gergi sistemi tarafından gerdirilirler (Özmen, 2020). Katener iletkenleri, Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Katener iletkenleri

Seyir Teli

Elektrik enerjisinin pantograf vasıtasıyla elektrikli diziye ya da lokomotife iletmesini sağlayan ve seyir esnasında pantografın sürekli temas ettiği tel seyir teli veya temas telidir. Seyir telleri temas telleri olduğundan tek damarlıdırlar ve temas yüzeyleri pürüzsüzdür.

Seyir telleri, tren seyir halindeyken süreklilikle -bazen yüksek hızlarda- pantograf ile temas halinde olduğundan, hattın dinamiği açısından raydan yüksekliğinin her noktada aynı seviyede olması sağlanmalıdır. Tolerans dışı yükseklik farkları, yüksek hızlarda telin fazla salınım yapmasına ve bu salınımlar sonucu tel kopmalarına sebebiyet verebilir.

Nominal seyir teli yüksekliği, tasarlanan maksimum ve minimum seyir teli yükseklikleri arasında belirlenir. TSEN 50367 standardı ile uluslararası işletilebilirlik için belirli değerler verilmiş ve bu standartta hatlar Tablo 1'deki gibi kategorilere ayrılmıştır. Hattın işletme hızlarına göre tasarımda kullanılacak seyir teli yükseklikleri projeye göre belirlenir. Yükseklikler ayarlanırken ray üstü kotu dikkate alınır.

Tablo 1. Nominal seyir teli yüksekliği- TS EN 50367

Hat Hızı V(km/s)	**V ≤ 200**	**200 < V < 250**	**V ≥ 250**
Nominal seyir teli yükseklik aralığı (m)	5,0- 5,75	5,0- 5,5	5,08- 5,3

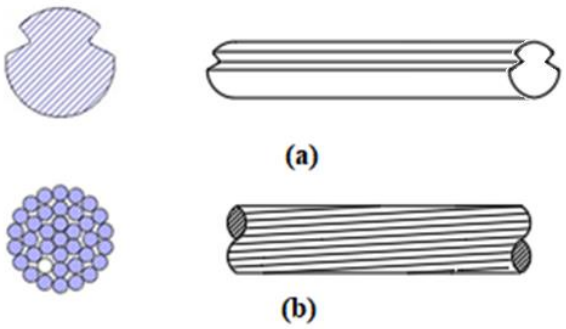
Seyir teli yüksekliği herhangi bir sebepten (üst geçit, köprü, tünel, hemzemin geçit vb.) düşmesi veya yükselmesi gerekiyorsa aşağıdaki TS EN 50119 standardındaki Tablo 2'de gözüktüğü gibi hat hızlarına göre izin verilen yükseklik değişim eğimleri gözetilerek seyir teli yükseklikleri sorunsuz olarak düşürülebilir veya yükseltilebilirler.

Tablo 2. Seyir teli eğim değişimi / hız ilişkisi- TS EN 50119

Hız (km/s)	**Maksimum Eğim**		**Maksimum Eğim Değişimi**	
		‰		**‰**
50	1/40	25	1/40	25
60	1/50	20	1/100	10
100	1/167	6	1/333	3
120	1/250	4	1/500	2
160	1/300	3,3	1/600	1,7
200	1/500	2	1/1000	1
250	1/1000	1	1/2000	0,5
≥250	0	0	0	0

Portör Teli

Seyir tellerini belirlenen yükseklikte sabit tutabilmek için; seyir telinin üzerinde aynı hizada giden ve seyir telinin asılı olduğu bir portör teli tesis edilir. Bu taşıyıcı tel, pandüller aracılığıyla seyir telinin iki destek noktası arasındaki sehimini tolere eder ve bu sayede seyir teli istenilen seviyede tutulmuş olur. Taşıyıcı amaçlarından dolayı portör telleri çok damarlı olarak tesis edilirler. Ayrıca akım paylaşımı amacıyla da genellikle bakır iletken, kimi zaman da alüminyum olarak tercih edilirler. Şekil 3'te bu tellerin kesitleri gösterilmiştir.



Şekil 3. Katener iletkenleri kesitleri, **(a)** Seyir teli kesiti, **(b)** Portör teli kesiti

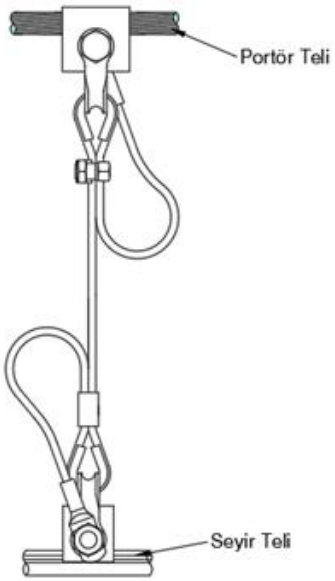
Portör teli kullanılmadığı durumda; hattın dinamiği olumsuz etkilenir. Yüksek hızlarda işletmecilik yapılamayacaktır. Seyir teli sehimi dolayısıyla daha az askı açıklığına izin verilecek ve daha fazla askı noktası kullanılacaktır. Seyir teli, ısı değişimlerinden çok fazla etkilenecek ve son olarak akım taşıma kapasitesinin yeterli olmaması problemleriyle karşılaşılacaktır.

Y Halatı

İşletmecilik hızı arttıkça, pantograf ile seyir teli arasındaki dinamik etkileşim arttığından, seyir teli seviyesini daha hassas koruyabilme adına her destek noktasına portör telini destekleyici bir tel olan Y Halatları tesis edilirler. Genellikle bakır iletken olarak seçilirler. Destek noktasına her iki tarafından da Şekil.2'deki gibi pandüller ile asılırlar.

Pandül

Seyir telinin portör teline asıldığı ara bağlantı elemanlarına pandül denir. Seyir teli, pandüller vasıtasıyla istenilen düşey seviyede tutulmaktadır. Pandüller kimi zaman yalnızca taşıma görevi üstlenseler de günümüzde kullanılan pandüller bakır iletkenlerden üretilirler ve portör ve seyir tellerinin akımı bölüşmelerini sağlarlar. Şekil 4'te, pandül seti örneği gösterilmiştir.



Şekil 4. Pandül seti

Pandüllerin; taşıyıcı telin sehimi, seyir telinin sehimi, tellerin gerginliği vb. değişkenlere göre konumlarının ve boylarının titizlikle belirlenmesi gerekmektedir. Pandül boy ve konumları önceleri el ile hesaplanarak belirlenirken, günümüzde bazı firmaların geliştirdiği yazılımlar ile hesaplanabilmektedir.

3.Yöntem

Bu çalışmada özgün bir yaklaşım olarak, pandül verilerinin elde edilebilmesi için daha önceki projelerde kullanılan pandül verileri aracılığıyla Matlab® yazılımı ile yapay sinir ağları eğitilmesi konu alınmıştır. Pandül analizleri, bazı firmaların proje bazlı hazırladıkları maliyetli yazılımlarla yapılmaktadır. Bu yazılımlarda tüm hat parametreleri yazılıma tanıtılır. Ardından her destek noktasına ait girdiler teker teker el ile yazılıma girilir. Sonunda pandül konum ve uzunlukları çıktı olarak gelir. Bu tip yazılımların maliyeti göz önünde bulundurulduğunda; proje bazlı oluşan bu maliyetlerin yerine, daha ergonomik ve otomatik sistem alternatifleri türetilebilir. Bir alternatif olarak günümüzde kullanım alanı yaygınlaşan makine öğrenimi değerlendirilebilir. Bu çalışma bu konuyu ele almıştır.

3.1.Makine Öğrenimi ve Yapay Sinir Ağları

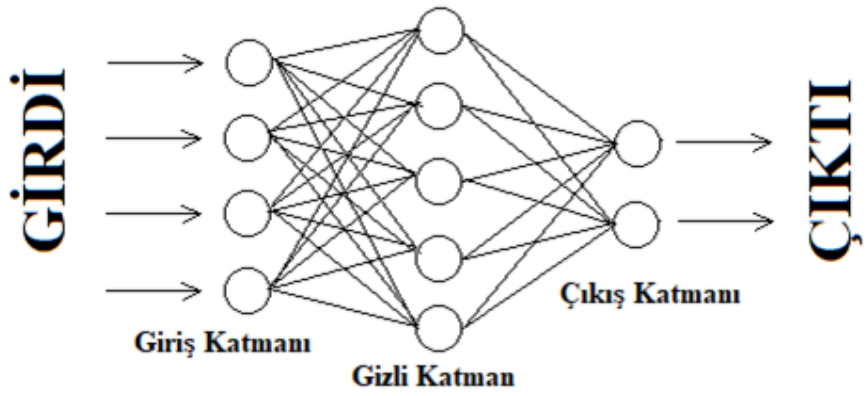
Çok büyük miktarlardaki verinin elle işlenmesi ve analizinin yapılması mümkün değildir. Bu problemleri çözmek için makine öğrenmesi yöntemleri geliştirilmiştir. Makine öğrenmesi yöntemleri, mevcut veriyi kullanarak yeni veri için en uygun modeli bulmaya çalışır. Birçok alanda kullanılan makine öğrenmesi yöntemlerine; giriş ile çıkış arasındaki fonksiyonun eğrisini bulan "eğri uydurma", eğitim verilerinin hangi sınıftan olduğu biliniyorsa, yeni gelen verinin hangi sınıfa dahil olacağını bulan "sınıflandırma", geçmişteki verilerin sınıfları veya etiketleri bilinmediği durumlarda verilerin birbirlerine yakın benzerliklerinin yer aldığı kümeleri bulan "kümeleme" vb. örnek verilebilir. (Diri, 2014).

Uygulama alanı ne olursa olsun, çok miktardaki verinin analiz edilerek gelecek ile ilgili tahminlerde bulunması ve bizim karar vermemize yardımcı olması ile makine öğrenmesi yöntemlerinin her geçen gün önemi artmaktadır. Günlük yaşamımızda da parmak izi, göz, ses tanıma, sürücüsüz araçlar geliştirme gibi alanlarda hızla gelişerek kullanılmaktadır.

Yapay Sinir ağları insan beyninin en temel özelliği olan öğrenme işlevini taklit etmek üzere geliştirilmiştir bilgisayar sistemleridir (Öztemel, 2006).

Öğrenme işlemini eğitim verileri yardımı ile gerçekleştirirler. Bu ağlar, birbirine bağlı yapay sinir hücrelerinden oluşur. Her bağlantının bir ağırlık değeri vardır. Yapay sinir ağının öğrenmiş olduğu bilgi, bu ağırlık değerlerinde saklı olup ağa yayılmıştır (Öztemel, 2006). Yapay sinir ağının eğitilmesi bu ağırlık değerlerinin belirli girdi değerlerine karşılık istenilen çıktı değerlerini verecek şekilde düzenlenmesidir.

Şekil 5'te katman halinde bir araya gelerek özel bir ağ oluşturmuş yapay sinir ağlarının genel şekli sunulmuştur.



Şekil 5. Yapay sinir ağı katmanları

Bu katmanlar aracılığıyla girdi ve çıktı arasındaki bağlantılar yapay sinir ağı tarafından saptanır. Yapay sinir ağı yeterince veri ile eğitildiğinde, eğitim verisinden bağımsız girdilerle karşılaşıldığında bağlantılar algılanacak ve beklenen çıktı değerleri oldukça yüksek doğrulukta elde edilmiş olacaktır.

3.2.Pandül verileri ile Yapay Sinir Ağlarının Eğitilmesi

Geçmişteki katener tesisleri projelerinden elde edilen pandül verilerinden bir veri seti oluşturularak, bu veriler aracılığıyla Matlab® yazılımı ile bir yapay sinir ağları eğitilmiştir. Tablo 3'te veri setinden örnekler görülebilir. Bu çalışmada 150 satırlık bir veri seti kullanılmıştır. Bu verilerin ilk 100 satırı yapay sinir ağının eğitimi için kullanılmıştır. Diğer 50 satırlık veri test için ayrılmıştır. Yapay sinir ağlarında saklı katmanda 10 adet hücre bulunduğunda en verimli sonuçlar elde edilmiştir.

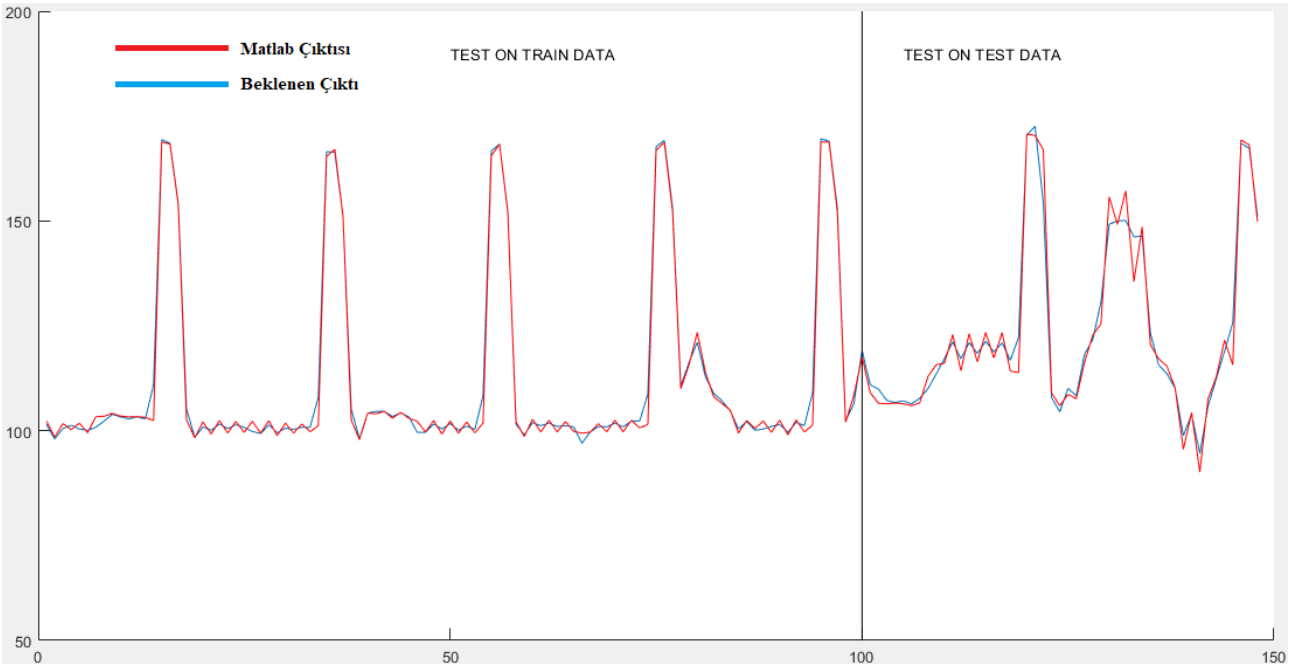
Tablo 3. Pandül veri seti örneği

GİRDİLER					
Dezeksman(m)	**Portör Teli Yüksekliği(m)**	**Seyir Teli Yüksekliği(m)**	**Açıklık(m)**	**Sistem Yüksekliği(m)**	**Y-Halatı**
0,21	7,162	5,75	60	1,41	VAR
-0,235	7,145	5,75	60,56	1,39	VAR
0,198	7,153	5,75	60,04	1,4	VAR
-0,194	7,161	5,75	59,98	1,41	VAR

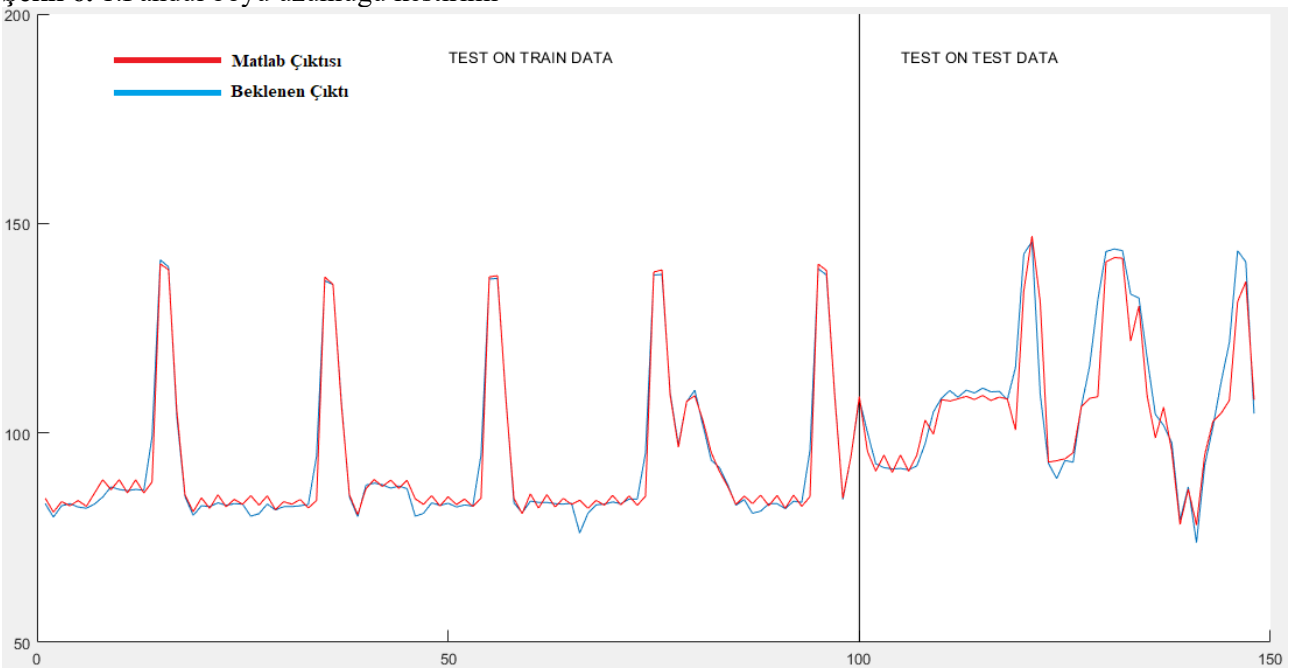
ÇIKTILAR							
1.Pandül Uzunluğu (cm)	**2.Pandül Uzunluğu (cm)**	**3.Pandül Uzunluğu (cm)**	**4.Pandül Uzunluğu (cm)**	**5.Pandül Uzunluğu (cm)**	**6.Pandül Uzunluğu (cm)**	**7.Pandül Uzunluğu (cm)**	**8.Pandül Uzunluğu (cm)**
117	101,5	83,1	76,8	82,5	100,3	114,8	-
114	98	79,9	74	80,4	99,2	114,8	-
115,2	100,5	82,6	76,7	82,9	101,2	116	-
116,1	101,3	83,1	76,9	82,8	100,7	115,2	-

3.3. Yapay Sinir Ağlarının Test edilmesi

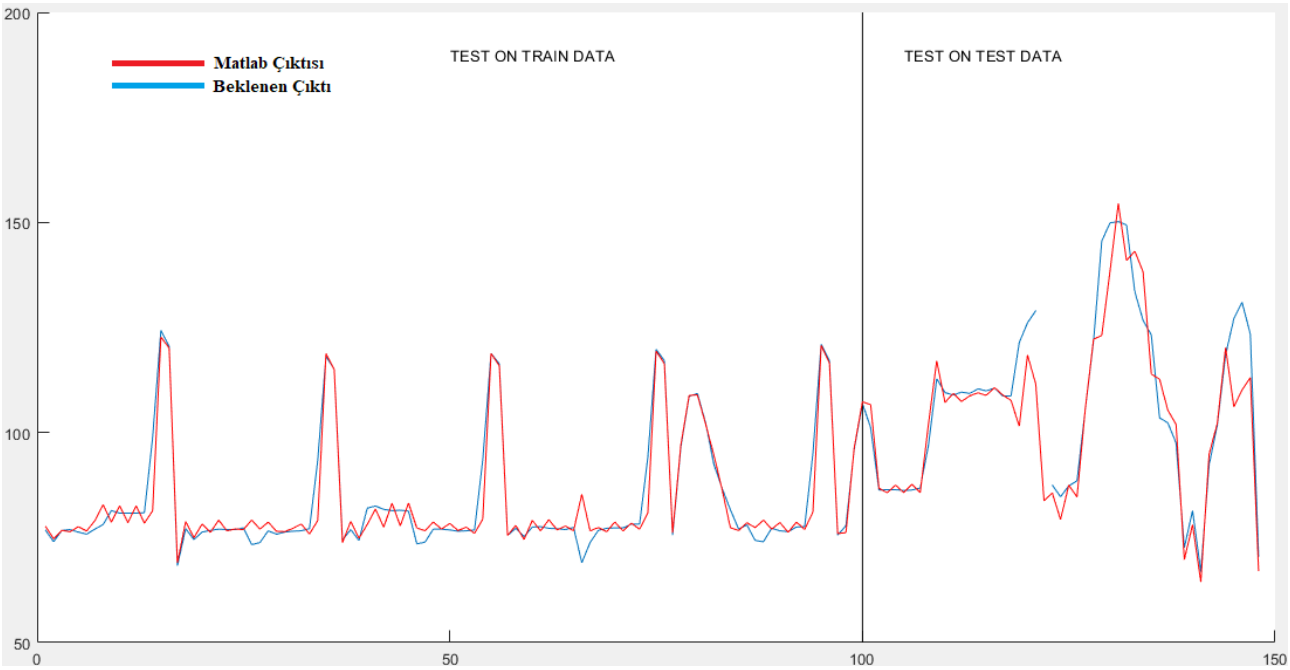
Yukarıda bahsedildiği gibi 150 satırlık bir veri seti kullanılmıştır. Bu verilerin ilk 100 satırı yapay sinir ağının eğitimi için kullanılmıştır. Diğer 50 satırlık veri test için ayrılmıştır. Şekil 6'da bu eğitim ve test işlemi aynı anda gösterilmiştir. Görüldüğü gibi, 1. Pandül uzunluğu için ilk 100 satır eğitim verisi olarak kullanıldığı için beklenen çıktı ile yapay sinir ağı çıktısı birbiriyle çok büyük oranda örtüşmektedir. Son 50 satır ise eğitim verisine dahil edilmeyerek test için ayrılmıştır. Görüldüğü üzere, çok az bir sapma ile yapay sinir ağı çıktısı, beklenen çıktıyla örtüşmektedir. Benzer sonuçlar, Şekil 7 ve Şekil 8'de 2. ve 3. Pandül uzunlukları için de görülebilir. Tablo 4 ise, bütün pandül boyları için metre cinsinden ortalama hatayı göstermektedir. Görüldüğü üzere, ortalama hata yalnızca 0,04 metre seviyesindedir.



Şekil 6. 1.Pandül boyu uzunluğu kestirimi



Şekil 7. 2.Pandül boyu uzunluğu kestirimi



Şekil 8. 3.Pandül boyu uzunluğu kestirimi

Tablo 4. Pandül Uzunluğu Ortalama Tahmin Hatası

	Yapay Sinir Ağı Çıktısı ile Beklenen çıktı arası ortalama hata (metre)
1. Pandül	0,0305
2. Pandül	0,0381
3. Pandül	0,0373
4. Pandül	0,0565
5. Pandül	0,0525
6. Pandül	0,0551
7. Pandül	0,0471
8. Pandül	0,0526

4.Sonuç

Birçok dağınık veriye maruz kaldığımız günümüzde veri analizi ve makine öğrenimi alanı her geçen gün hayatımızın her alanında önem kazanmaktadır. Raylı sistemler alanında da birçok makine öğrenimi ve veri analizi çalışmaları yapılmaktadır. Örnek olarak, katener sistemleri özelinde, görüntü işleme yöntemiyle hata tespitleri yapılarak olası arızalar önceden tespit edilebilip, hattın güvenliği artırılabilmektedir.

Bu bakış açısıyla, bu çalışmada pandül boyu belirlenmesi konusunda Matlab® yazılımının yapay sinir ağları eklentisi ile yapılan incelemelerde; eğitilen yapay sinir ağı, veri setindeki girdi ve çıktıları öğrendikten sonra beklenen çıktıya oldukça benzer veriler üretebilmiştir. Bu durum; yapay sinir ağlarının, mevcut raylı sistem katener tesislerindeki pandül verilerinin eğitim verisi olarak kullanıldığı uygulamalarda, gelecek pandül hesaplamalarında kullanılabilirliğini göstermiştir.

Kaynaklar

A. Bautista, J. Montesinos , P. Pintado. (2016). Dynamic interaction between pantograph and rigid overhead lines using a coupled FEM — multibody procedure. *Mechanism and Machine Theory 97 (2016) 100–111* https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2015.10.009

Chen, L., Peng, P., & He, F. (2018). Fatigue life analysis of dropper used in pantograph-catenary system of high-speed railway. *Advances in Mechanical Engineering*, *10*(5), 1-10.

Diri, B*., Yıldız Teknik Üniversitesi – Makine Öğrenmesine Giriş.* Erişim adresi https://www.siskon.com.tr/dosya/PDF/Makale/Makina_Ogrenmesi.pdf

Jesús Benet, Nuria Cuartero, Fernando Cuartero, Tomas Rojo, Pedro Tendero and Enrique Arias. (2013). An advanced 3D-model for the study and simulation of the pantograph catenary system. *Transportation Research Part C 36 (2013) 138–156, DOI: 10.1016/j.trc.2013.08.004*

Özmen, İ. (2014). *750 V DC cer gücü tedarik sisteminin bilgisayar destekli modellemesi, benzetimi ve analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Öztemel, E. (2006). *Yapay Sinir Ağları* (2.Basım). İstanbul: Papatya Yayıncılık

Paweł Zdziebko, Adam Martowicz, and Tadeusz Uhl. (2019). Experimental and numerical investigation on the components of a pantograph slider suspension. *2019 MATEC Web of Conferences 252, 05003, CMES'18* https://doi.org/10.1051/matecconf/201925205003

TS EN 50367. (2012). *Demiryolu uygulamaları- Akım toplama sistemleri- Pantograf ile havai hat arasındaki etkileşim için teknik kriter (serbest erişim elde etmek için)* (ICS 45.060.01)

TS EN 50119. (2002). *Demiryolu Uygulamaları- Sabit Tesisler- Elektrikli Cer- Temas Hava Hatları* (ICS 29.280)

Comprehensive Analysis of Dual Sided Doped Memristor for Different Window Functions Using Non-Linear Drift Model

Yasin OĞUZ*[1,a]

[1]*Gümüşhane University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering, 29100, Gümüşhane*

Abstract

Although the memristor was first introduced as a missing circuit element that meets the relationship between charge and flux in 1971 by Chua theoretically, its physical realization was carried out in 2008 by a group of researchers in HP laboratories. After that, various studies have been done on the mathematical modeling of the memristor as a new circuit element that attracts attention after resistor, inductance and capacitor.

In these models, different methods have been introduced for memristance calculation of memristor. The non-linear ionic drift model is one of these methods, too. In this model, window functions are used to ensure nonlinearity. Different window functions that stand out at different points are suggested in the literature. Another prominent issue in these studies is the memristor structure modeled. In the modeling studies, single active layer (single-sided doped) memristor mechanisms were discussed.

In this study, two active layer (dual-sided doped) memristor structure is analyzed. For these structures, solutions of memristance calculation using non-linear ionic drift model are shown. Memristance and variation of current-voltage values are presented for different initial parameters and frequency values. These results have been obtained for different window functions. In addition, single-sided doped memristor and dual-sided doped memristor structures are considered separately and the results of the window functions available in the literature for these structures are given comparatively.

As a result, it has been observed that some features such as switching speed, saturation frequency etc. of the dual-sided doped memristor structure have a higher performance than the single-sided doped memristor structure.

Keywords: Dual Sided, Memristor, Non-Linear Drift, Window Function.

1. Introduction

The memristor appears as the fourth basic circuit element whose theoretical definitions were introduced by Chua in 1971 (Chua, 1971). In 2008, the first physical implementation was presented by a group of researchers at HP laboratories (Strukov, D. B. et al., 2008). Due to its different features, it attracts attention as a candidate device for the development of new technologies today. Since then, many studies have been carried out in this field and continue to be done. In these studies, extensively the single sided doped memristor model was emphasized and different methods were proposed and used on the mathematical modeling of this structure. Non-linear drift model is also used as one of these methods. Here, a study on the dual sided doped memristor structure and its mathematical modeling with non-linear drift method is presented.

2. Materials and Methods

2.1. Single Sided Doped Memristor Structure

As shown in Fig. 1, the physical model of the TiO_2 memristor element consists of placing a doped and undoped TiO_2 layer between the platinum contacts. The thickness of the entire device is denoted by D and w is the width of the doped layer. R_{on} is the resistance of the memristor if the entire memristor is covered with the doped layer. R_{off} is the resistance of the memristor if the whole memristor is covered with the undoped layer.

For single sided doped memristor, memristance value is defined by the following equations

$$x(t) = \frac{w(t)}{D} \quad (1)$$

$$M(t) = \left[R_{on}x(t) + R_{off}\left(1 - x(t)\right)\right] \qquad (2)$$

where $M(t)$ is the memristance of the memristor (Strukov, D. B. et al., 2008).

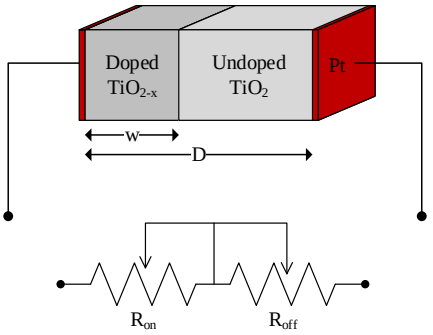


Fig. 1. Single sided doped TiO_2 memristor model and its equivalent circuit.

2.2. Non-linear Drift Model

The non-linear drift method can generally be expressed by equation (3) for single sided doped memristor.

$$\frac{dx(t)}{dt} = \mu_v \frac{R_{on}}{D^2} i(t) f(x) \qquad (3)$$

where dx/dt is the speed of change of the boundary between the doped and undoped layer, μ_v is the average drift mobility of the charges, $f(x)$ is the non-linear window function (Biolek, Z. et al., 2009).

2.3. Dual Sided Doped Structure with Non-linear Drift Model

The dual sided doped memristor and it's electrical equivalent circuit diagram is shown in Fig. 2. As can be seen from the figure, the dual sided doped memristor consists of a structure with two active layers including TiO_{2-x} and TiO_{2+x} (Shrivastava, A. et al., 2013).

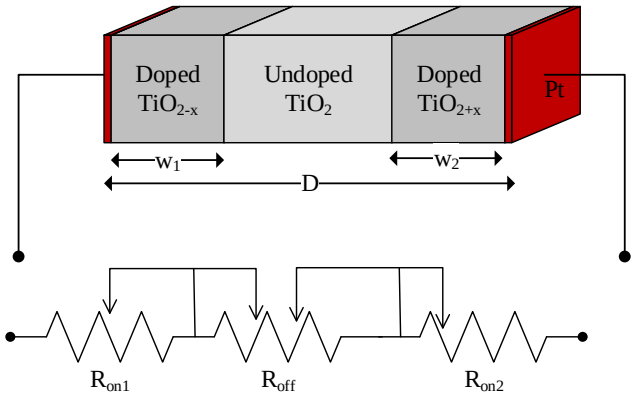


Fig. 2. Dual sided doped TiO_2 memristor model and its equivalent circuit.

For the dual sided doped memristor, the non-linear drift method can generally be expressed by the following equations

$$x_1(t) = \frac{w_1(t)}{D/2} \qquad (4)$$

$$x_2(t) = \frac{w_2(t)}{D/2} \qquad (5)$$

$$M(t) = \left[R_{on1}x_1(t) + R_{on2}x_2(t) + R_{off}\left(1 - \frac{x_1(t)+x_2(t)}{2}\right)\right] \quad (6)$$

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = 4\mu_{v1}\frac{R_{on1}}{D^2}i(t)f(x_1) \quad (7)$$

$$\frac{dx_2(t)}{dt} = 4\mu_{v2}\frac{R_{on2}}{D^2}i(t)f(x_2) \quad (8)$$

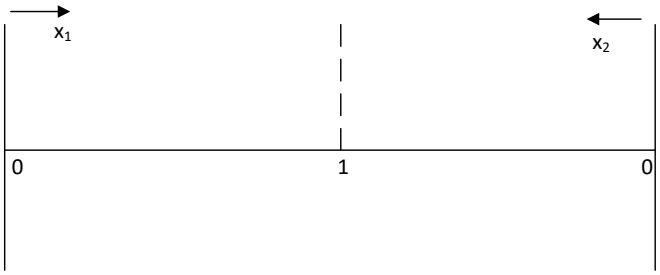


Fig. 3. Dual sided doped memristor state variables x_1 and x_2 and their boundary conditions

2.4. Window Functions

Joglekar's Function (Joglekar, Y. N. et al., 2009)

$$f(x) = 1 - (2x - 1)^{2p} \quad (9)$$

Biolek's Function (Biolek, Z. et al., 2009)

$$f(x) = 1 - (x - stp(-i))^{2p} \quad (10)$$

$$stp(i) = \begin{cases} 1, & i \geq 0 \\ 0, & i < 0 \end{cases} \quad (11)$$

Prodromakis Function (Prodromakis T. et al., 2011)

$$f(x) = j(1 - [(x - 0.5)^2 + 0.75]^p) \quad (12)$$

Zha's Function (Zha, J. et al., 2011)

$$f(x) = j(1 - [0.25(x - stp(-i))^2 + 0.75]^p) \quad (13)$$

$$stp(i) = \begin{cases} 1, & i \geq 0 \\ 0, & i < 0 \end{cases} \quad (14)$$

where p is positive integer and i is the memristor current.

3. Result and Discussion

On numerical simulations, the parameters used for single sided doped memristor and dual sided doped memristor are given in Table 1. In both structures, the input voltage is

$$V = V_o \sin(2\pi f t) \quad (15)$$

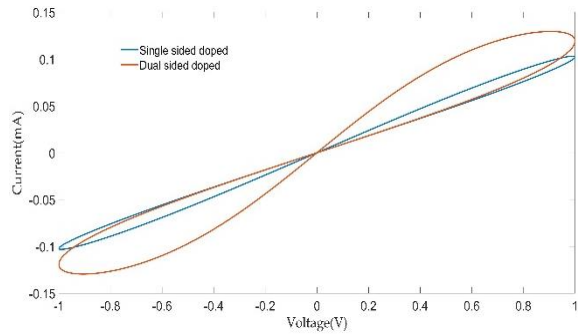
In Fig. 4, I-V characteristics of both structures are given according to the parameters in Table 1.

It can be observed that the dual sided doped memristor exhibits better pinched hysteresis curve as compared to single sided doped memristor from Fig. 4.

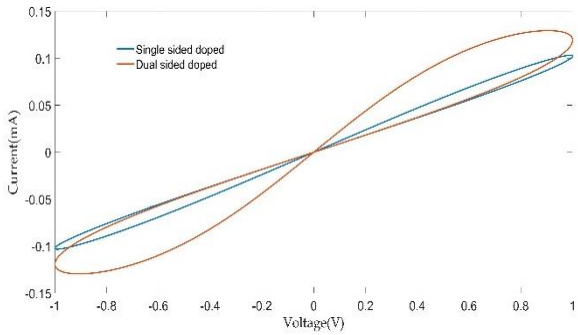
Sinusoidal inputs with higher frequencies have been applied to analyze and compare structures behavior. Fig. 5, Fig. 6, Fig. 7 and Fig. 8 shows the saturation frequency for the dual sided doped and single sided doped memristor. As can be seen from the graphics, the dual sided doped memristor structure allows higher frequencies to reach saturation than the single sided doped memristor structure.

Table 1. Parameters in numerical simulations

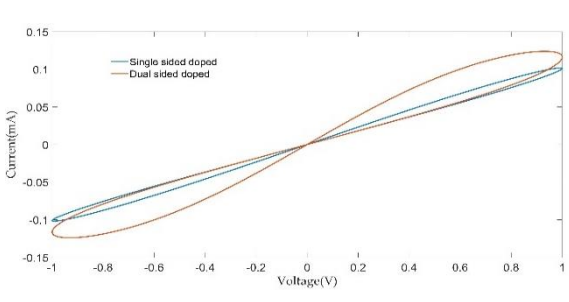
Parameter	**Single Sided Doped Memristor**	**Dual Sided Doped Memristor**
j	1	1
p	10	10
R_{on}	100 Ω	-
R_{on1}	-	50 Ω
R_{on2}	-	50 Ω
R_{off}	16 kΩ	16 kΩ
D	10 nm	10 nm
μ_v	10^{-14} m^2/Vs	-
μ_{v1}	-	10^{-14} m^2/Vs
μ_{v2}	-	10^{-14} m^2/Vs
R_{init}	11 kΩ	-
R_{init1}	-	5.5 kΩ
R_{init2}	-	5.5 kΩ
V_o	1	1



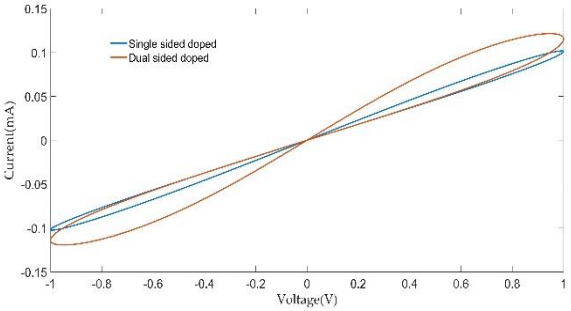
a) Joglekar window function



b) Biolek window function

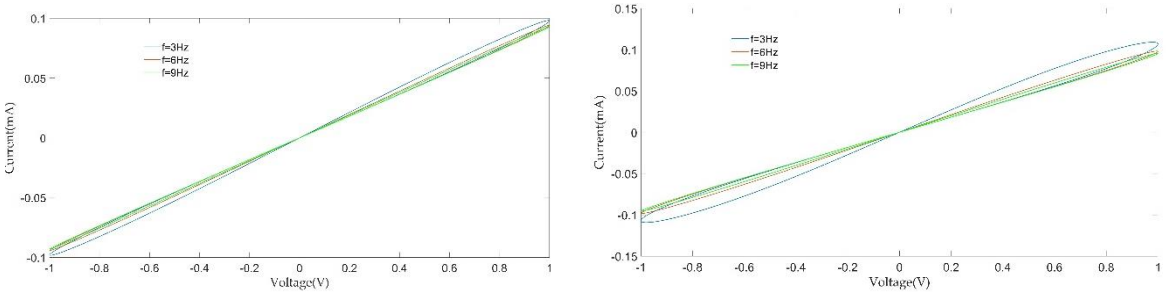


c) Prodromakis window function



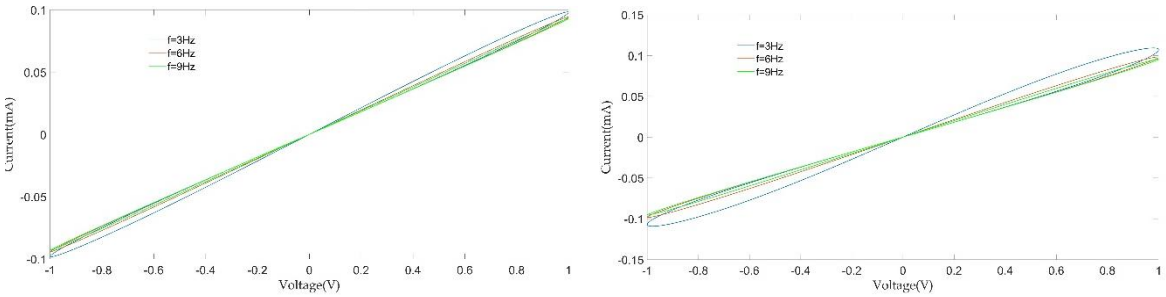
d) Zha window function

Fig. 4. I-V characteristics for f =2 Hz



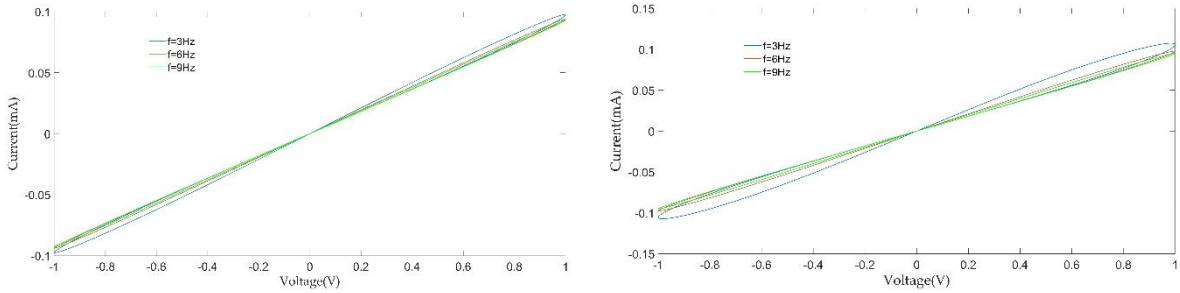
a) Single sided doped b) Dual sided doped

Fig. 5. I-V characteristics for Joglekar window function



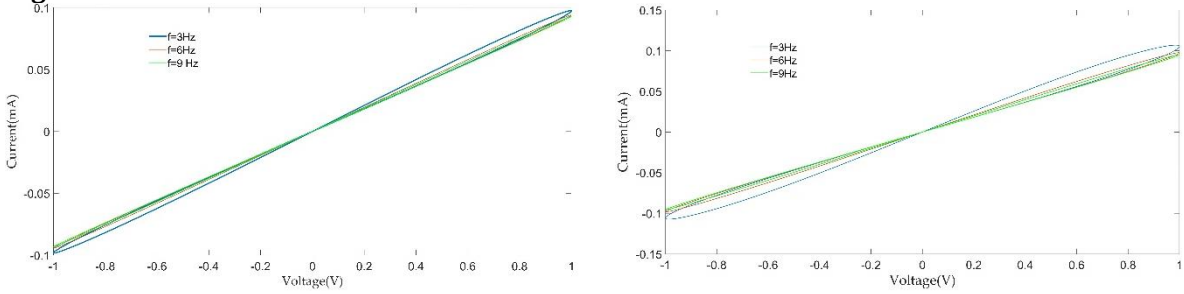
a) Single sided doped b) Dual sided doped

Fig. 6. I-V characteristics for Biolek window function



a) Single sided doped b) Dual sided doped

Fig. 7. I-V characteristics for Prodromakis window function



a) Single sided doped b) Dual sided doped

Fig. 8. I-V characteristics for Zha window function

4. Conclusion

In this study, dual sided doped memristor structure and single sided doped memristor structure were compared.

Non-linear ionic drift method was used for mathematical analysis. Equivalent circuit model is given for both structures and necessary relations for memristance calculation are presented. Simulation studies for different window functions have shown that the dual sided doped memristor performs better in terms of switching speed and saturation frequency. Therefore, dual sided doped memristor structures will provide more performance and flexibility for different applications than the common single sided doped memristor structures.

5. References

Biolek, Z., Biolek, D. and Biolkova, V. (2009). SPICE model of memristor with nonlinear dopant drift. *Radioengineering,18*(2), 210–214.

Chua, L. (1971). Memristor-the missing circuit element. *IEEE Transactions on Circuit Theory*, *18*(5), 507-519. https://doi.org/10.1109/TCT.1971.1083337.

Joglekar, Y. N. and Wolf, S. J. (2009). The elusive memristor: Properties of basic electrical circuits. *European Journal of Physics. 30*(4), 661-675. https://doi.org/ 10.1088/0143-0807/30/4/00*1*

Prodromakis, T., Peh, B.P., Papavassiliou, C. and Toumazou, C. (2011). A versatile memristor model with non-linear dopant kinetics. *IEEE Transactions On Electron Devices*, *58*(9), 3099–3105. https://doi.org/10.1109/TED.2011.2158004

Shrivastava, A. and Singh J. (2013). Dual sided doped memristor and it's mathematical modelling. *IEEE 20th International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS)*, (pp 49-51), Abu Dhabi. https://doi.org/10.1109/ICECS.2013.6815342

Strukov, D. B. , Snider, G., Stewart, D. R. and Williams, R.S. (2008) . The missing memristor found. *Nature 453*, 80–83. https://doi.org/10.1038/nature06932

Zha, J., Huang, H. and Liu, Y. (2016). A novel window function for memristor model with application in programming analog circuits. *IEEE Transactions On Circuits and Systems—II: Express Briefs*, *63*(5), 423-427. https://doi.org/ 0.1109/TCSII.2015.2505959

Non-Linear Drift Model Analyzing of Dual Sided Doped Memristor with Controllable ∏-Shaped Window Function

Yasin OĞUZ*[1,a]

[1]*Gümüşhane University, Engineering and Natural Sciences Faculty, Department of Electrical and Electronics Engineering, 29100, Gümüşhane*

Abstract

The memristor, which entered the literature with the name of the fourth circuit element, was first put forward theoretically by Chua in 1971 and its physical realization was carried out by a group of researchers in HP laboratories in 2008. After these advances, various mathematical models have been developed to analyze the working structure of the memristor.

The nonlinear drift model is also used as a mathematical equivalent of the memristor mechanism as one of the models. In the nonlinear drift model, window functions with certain properties play an important role in the nonlinearity of the model. Different window functions come to the fore with their various features (boundary conditions, boundary lock, scalability, flexibility etc.). However, it is seen that the studies conducted focus on single-sided doped memristor structures.

In this study, the analysis of TiO_2 memristor structure with dual-sided doped instead of TiO_2 memristor structures with single-sided doped with non-linear ionic drift model is done. A controllable ∏-shaped function model is proposed as a different window function in the analysis of dual-sided doped TiO_2 memristor structures by non-linear drift model. Here, the current-voltage changes are given by taking into account the various parameters of the dual-sided doped memristor structure. The change of pinched hysteresis loops according to the frequency is presented. For the proposed function, the state of meeting the basic function properties such as boundary conditions, scalability, flexibility and their performance in comparison with other window functions available in the literature are presented.

Consequently, it is evaluated that the parametric structure and natural form of the proposed window function can be used for analyzing of dual-sided doped TiO_2 memristor structures.

Keywords: Controllable ∏-Shaped, Dual-sided, Memristor, Non-Linear Drift, Window Function.

1. Introduction

Memristor, which is short for memory resistor, was proposed by Chua in 1971 as the fourth fundamental circuit element showing the relationship between magnetic flux and charge (Chua, 1971). But the physical implementation of the memristor could only be done in 2008 by a group of researchers from HP Labs (Strukov, D. B. et al., 2008). After this date, the studies done in the field of memristor started to increase rapidly. Most of these studies consist of mathematical modeling applications based on the single sided doped memristor structure. In this study, the analysis of dual sided doped memristor structures in nonlinear drift method with a new window function is included.

2. Materials and Methods

2.1. Dual Sided Doped Memristor Structure

As shown in Fig. 1, the dual sided doped memristor consists of an undoped TiO_2 layer and two doped layers as TiO_{2-x} and TiO_{2+x} between the platinum contacts. The thickness of the entire device is denoted by D. w_1 is the width of the doped region1 and w_2 is the width of the doped region2. R_{ON1} and R_{ON2} are the resistances of the memristor when half of the memristor is covered with the doped region1 and doped region2, respectively. R_{OFF} is the resistance of the memristor if the whole memristor is covered with the undoped layer.

For dual sided doped memristor, memristance value is defined by the following equations

$$x_1(t) = \frac{w_1(t)}{D/2} \qquad (1)$$

$$x_2(t) = \frac{w_2(t)}{D/2} \qquad (2)$$

$$M(t) = \left[R_{ON1}x_1(t) + R_{ON2}x_2(t) + R_{OFF}\left(1 - \frac{x_1(t)+x_2(t)}{2}\right)\right] \quad (3)$$

where $M(t)$ is the memristance of the memristor (Shrivastava, A. et al., 2013; Shrivastava, A. et al., 2014).

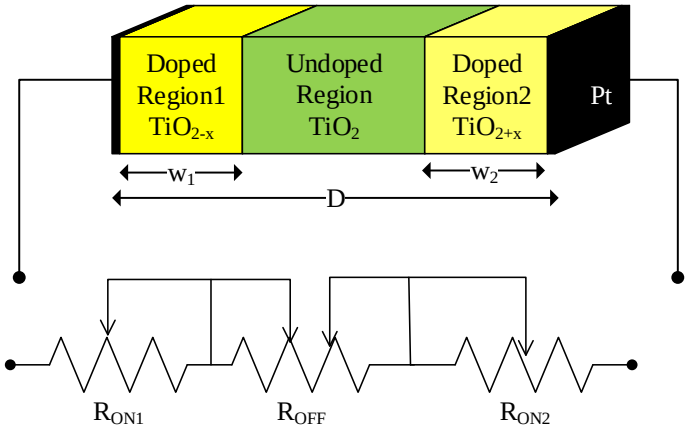


Fig. 1. Dual sided doped memristor model and its equivalent circuit.

2.2. Non-linear Drift Model for Dual Sided Doped Memristor

The non-linear drift method can generally be expressed by equation (4-5) for dual sided doped memristor.

$$\frac{dx_1(t)}{dt} = 4\mu_{v1}\frac{R_{ON1}}{D^2}i(t)f(x_1) \qquad (4)$$

$$\frac{dx_2(t)}{dt} = 4\mu_{v2}\frac{R_{ON2}}{D^2}i(t)f(x_2) \qquad (5)$$

where
dx_1/dt : the speed of change of the boundary between the doped region1 and undoped region
dx_2/dt : the speed of change of the boundary between the doped region2 and undoped region
μ_{v1}: the average drift mobility of the charges in region1,
μ_{v2}: the average drift mobility of the charges in region2,
$f(x)$ is the non-linear window function.

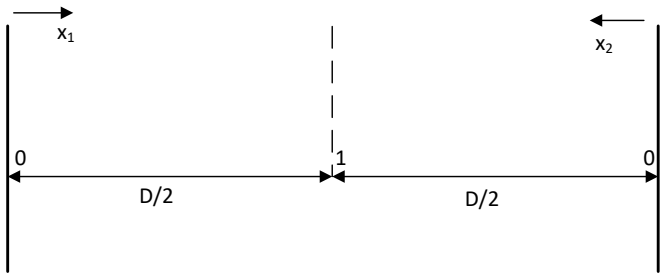


Fig. 2. Dual sided doped memristor state variables x_1 and x_2

2.3. Window Functions for Non-linear Drift Model

Joglekar Window Function (Joglekar, Y. N. et al., 2009)

$$f(x) = 1 - (2x - 1)^{2p} \qquad (6)$$

Biolek Window Function (Biolek, Z. et al., 2009)

$$f(x) = 1 - (x - stp(-i))^{2p} \qquad (7)$$

$$stp(i) = \begin{cases} 1, & i \geq 0 \\ 0, & i < 0 \end{cases} \qquad (8)$$

Prodromakis Window Function (Prodromakis T. et al., 2011)

$$f(x) = j(1 - [(x - 0.5)^2 + 0.75]^p) \qquad (9)$$

Zha Window Function (Zha, J. et al., 2011)

$$f(x) = j(1 - [0.25(x - stp(-i))^2 + 0.75]^p) \qquad (10)$$

$$stp(i) = \begin{cases} 1, & i \geq 0 \\ 0, & i < 0 \end{cases} \qquad (11)$$

where p is positive integer and i is the memristor current.

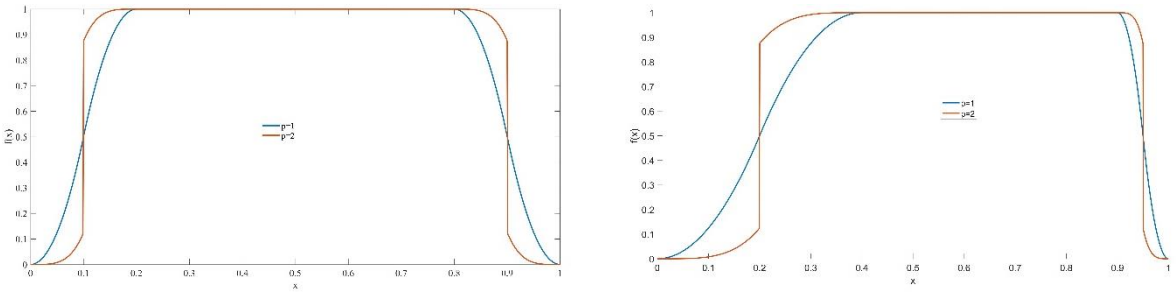
2.4. Controllable ∏-Shaped Function

The controllable Π-shaped function to be used in this study for the nonlinear drift model is given by equation (12). Fig. 3 shows the format of the window function for different parameters.

$$f(x) = \begin{cases} 0 & ,x \leq a \\ 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^{2p} & ,a \leq x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{x-a}{b-a}\right)^{2p} & ,\frac{a+b}{2} \leq x \leq b \\ 1 & ,b \leq x \leq c \\ 1 - 2\left(\frac{x-c}{d-c}\right)^{2p} & ,c \leq x \leq \frac{c+d}{2} \\ 2\left(\frac{x-d}{d-c}\right)^{2p} & ,\frac{c+d}{2} \leq x \leq d \\ 0 & ,x \geq d \end{cases} \qquad (12)$$

$$0 \leq a < b \leq c < d \leq 1$$

where a,b,c and d are real numbers and p is positive integer number.



(a) (b)

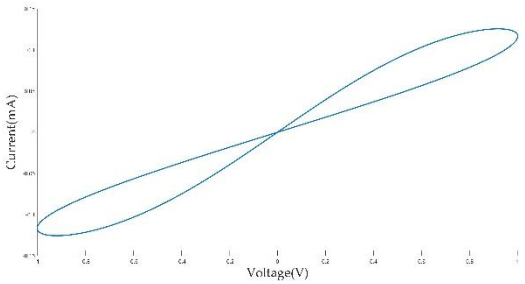
Fig. 3. Controllable Π-shaped function a) a=0, b=0.2, c=0.8,d=1 b) a=0, b=0.4, c=0.9 ,d=1

3. Result and Discussion

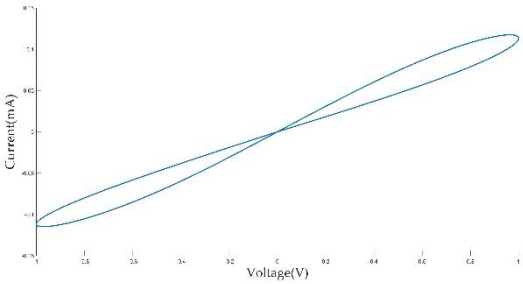
The input voltage used all simulations is

$$V = V_o \sin(2\pi f t) \quad (13)$$

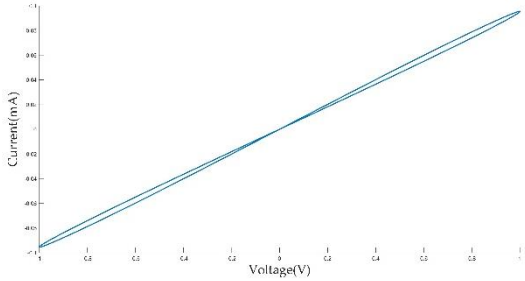
In Fig. 4, I-V characteristics of dual sided doped memristor structure have been plotted for the different window functions. The parameters used simulations are R_{ON1}=50 Ω, R_{ON2}=50 Ω, R_{OFF}=16kΩ , D=10 nm , $\mu_{v1}=10^{-14}$ m^2/Vs , $\mu_{v2}=10^{-14}$ m^2/Vs , R_{init1}=5.5kΩ , R_{init2}=5.5kΩ , V_o=1.



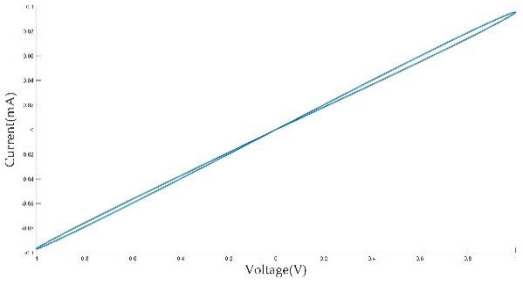
a) Joglekar window function



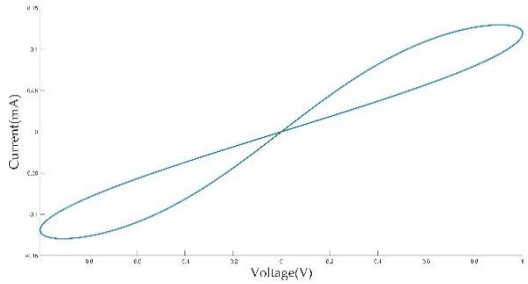
b) Biolek window function



c) Prodromakis window function



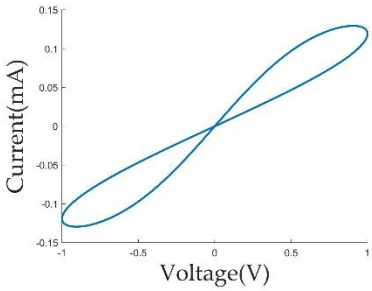
d) Zha window function



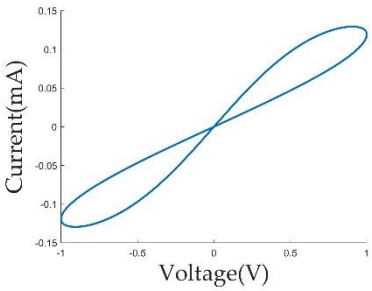
e) Controllable Π-shaped function (a=0, b=0.3, c=0.7,d=1)

Fig. 4. I-V characteristics for *f* =2 Hz, p=1

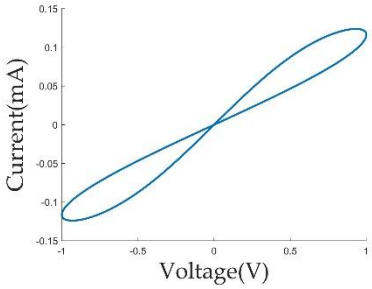
In Fig. 5, I-V characteristics of dual sided doped memristor structure have been plotted using the different window functions for above parameters and p=10.



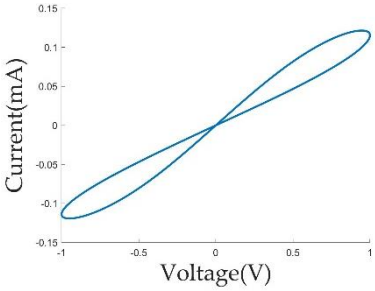
a) Joglekar window function



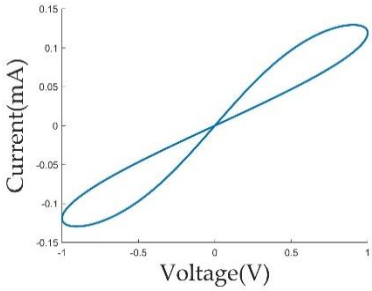
b) Biolek window function



c) Prodromakis window function



d) Zha window function



e) Controllable Π-shaped function (a=0, b=0.3, c=0.7,d=1)

Fig. 5. I-V characteristics for *f* =2 Hz, p=10

4. Conclusion

In this study, mathematical modeling of dual sided doped memristor structures and necessary equations are presented. Non-linear ionic drift method was used for mathematical analysis. Some window functions existing in the literature and controllable Π-shaped function as a new function have been used in simulation studies. As a result, it has been revealed that the parametric structure and natural form of the proposed window function can be used in the analysis of dual sided doped memristor structures.

5. References

Biolek, Z., Biolek, D. and Biolkova, V. (2009). SPICE model of memristor with nonlinear dopant drift. *Radioengineering, 18*(2), 210–214.

Chua, L. (1971). Memristor-the missing circuit element. *IEEE Transactions on Circuit Theory*, *18*(5), 507-519. https://doi.org/10.1109/TCT.1971.1083337.

Joglekar, Y. N. and Wolf, S. J. (2009). The elusive memristor: Properties of basic electrical circuits. *European Journal of Physics, 30*(4), 661-675. https://doi.org/10.1088/0143-0807/30/4/001

Prodromakis, T., Peh, B.P., Papavassiliou, C. and Toumazou, C. (2011). A versatile memristor model with non-linear dopant kinetics. *IEEE Transactions On Electron Devices*, *58*(9), 3099–3105. https://doi.org/10.1109/TED.2011.2158004

Shrivastava, A. and Singh J. (2013). Dual sided doped memristor and it's mathematical modelling. *IEEE 20th International Conference on Electronics, Circuits, and Systems (ICECS)*, (pp 49-51), Abu Dhabi. https://doi.org/10.1109/ICECS.2013.6815342

Shrivastava, A., Khalid, M., Singh, K., and Singh, J. (2014). Improved dual sided doped memristor: modelling and applications. *The Journal of Engineering, 2014*(5), 219-226. https://doi.org/10.1049/joe.2013.0265

Strukov, D. B. , Snider, G., Stewart, D. R. and Williams, R.S. (2008) . The missing memristor found. *Nature 453*, 80–83. https://doi.org/10.1038/nature06932

Zha, J., Huang, H. and Liu, Y. (2016). A novel window function for memristor model with application in programming analog circuits. *IEEE Transactions On Circuits and Systems—II: Express Briefs*, *63*(5), 423-427. https://doi.org/ 0.1109/TCSII.2015.2505959

Designing Hardware Application of FBMC Transmitter

Bircan ÇALIŞIR*[1,a], Ayhan AKBAL[2,b]
[1] *Firat University, Electrical and Electronical Engineering, Elazığ*
[2] *Firat University, Electrical and Electronical Engineering, Elazığ*

Abstract

Available modulation techniques aims to present high capacity, high data rate while remaining available spectrum the same for next-generation wireless 5G communication systems. While one of the modulation technique orthogonal division multiple accesses (OFDM) provide a good performance in 4G, it has many limitations that make it not suitable for 5G specifications. One of the other candidates of a multicarrier modulation scheme is the Filter Bank Multi-Carrier with Offset Quadrature Amplitude Modulation (FBMC/OQAM) and designing of FBMC with specific prototype filters provides better spectral properties with reducing Inter-Symbol Interference (ISI) and Inter-Carrier-Interference (ICI). FPGAs offers a good relationship between their flexibility, processing power, and power consumption and this provides a good hardware improving area. Thanks to this advantage of FPGAs provide as a good area for the development of hardware implementation of baseband processors for FBMC transmission. In this paper, firstly OFDM and FBMC-OQAM transmitter structure is explained and applications are realized in System Generator and then FBMC-OQAM Transmitter hardware application is applicated on FPGA board.

Anahtar kelimeler: FBMC, OFDM, 5G, FPGA, Hardware Application

1. INTRODUCTION

Developing with an explosive rate 5G wireless technology is currently one of the biggest areas of research within academia and industries. Signal processing technique plays the important role about the development. Ubiquitous connectivity and seamless service delivery in all circumstances are expected to provide next generation mobile communication systems. The increased requirement for important number of devices, the coexistence of human-centric and machine type applications will cause changing with large diversity to communication scenarios and characteristics [1].

Researchers are nowadays studied and considered FBMC as a key enabler for the future flexible 5G air interface [2]. FBMC has better spectrum shape, enables better spectrum usage and improved mobility support when compared to the conventional OFDM. These advantages are possible owing to the Prototype Filter which obtains to advance the time and frequency localization properties of the transceiver. The orthogonality is maintained with the OQAM scheme in the real domain while opposite to complex domain. However Prototype filter selection is very important to obtain effective FBMC structure. Especially the time and frequency localization of a prototype filter effects expressively architecture of the communication system and the levels of different performance [3].

Fast Fourier Transform (FFT) is used to conversion time or space domain to frequency domain while the frequency domain to time domain conversion is fulfilled by using the inverse FFT (IFFT) operation [4]. In literature, several sort of FFT techniques are introduced such as mixed radix, radix2, radix4 and radix8 [5]. Radix2 is easy when compared to the Radix4 operation and also the Radix2 FFT presents low area and power compared the radix8 and radix4 operation [6, 7].

This paper presents FBMC structure and FBMC implementation in FPGA with VHDL codes, and finally implementation results are given with figures and tables.

II. OFDM

OFDM uses information bits to generate complex In-phase I and Quadrature Q components cn(m) as seen in Fig. 1. After that M length an inverse fast Fourier transform (IFFT) is computed and a M complex samples block is composed in time domain. At the input of the IFFT, unused sub-carriers are padded to zero. We can write the baseband OFDM modulation in discrete time domain like Equation 1.

$$s_n(k) = \sum_{m=0}^{M-1} c_{n(m)}\, e^{\frac{j2\pi mk}{M}} \tag{1}$$

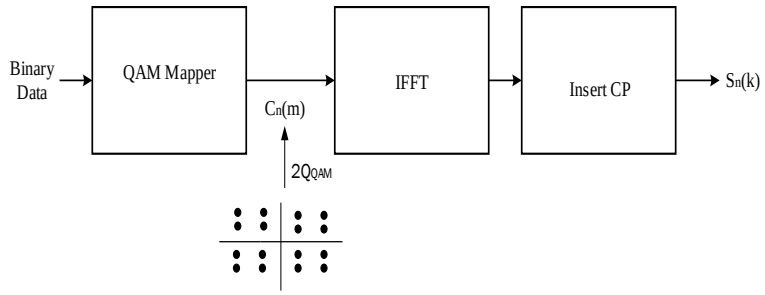


Figure 1. OFDM structure

In Equation 1, M expresses the overall number of sub-carriers, cn(m) symbolizes the complex valued data obtained from a QAM constellation at sub-carrier index m and block index n, s(k) represents the complex output of the OFDM modulation. At the beginning of a OFDM block, a cyclic prefix (CP) is inserted to cancel inter-symbol interference that caused by the delay spread of a multipath channel with considerably higher cost in spectral efficiency [8].

III. FBMC

FBMC/OQAM modulation presents similarity to OFDM modulation with two main differences, as shown in Fig. 2. First, QAM mapping is realized and followed by an offset of M/2 samples in time domain between the I (a2n(m)) and the Q (a2n+1(m)) components of cn(m). The components are multiplied by jn+m to provide neighbors of a sub-carrier in quadrature. The obtained OQAM mapper presents the orthogonality in the real field. Next step of this modulation a filtering processing through known as a polyphase network (PPN) after IFFT block. Thanks to this a better time and frequency localization is achieved, without cyclic prefix [9]. The discrete-time, FBMC-OQAM modulator output is given in Equation 2 considering the length of the prototype filter, L = qM, q natural number.

$$s(k) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g\left(k - \frac{nM}{2}\right) u_n(k) \tag{2}$$

In Equation 2, M describes overall number of sub-carriers; g describes the prototype filter of length L. In Equation 3 and 4, the delay of the filter causes phase component and symbolized with $(-1)^{qm} e^{j\frac{\pi}{M}m}$.

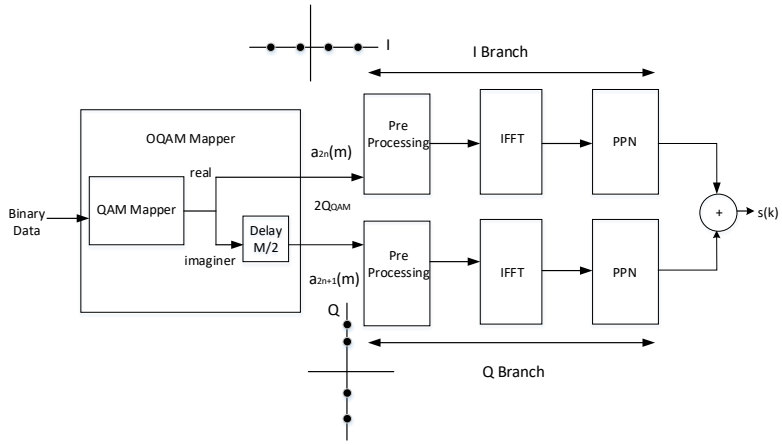


Figure 2. FBMC structure

$$u_n(k) = \sum_{m=0}^{M-1} x_n(m)\, e^{j\frac{2\pi}{M}km} \tag{3}$$

$$x_n(m) = a_n(m) j^{n+m} (-1)^{qm} e^{j\frac{\pi}{M}m} \tag{4}$$

4. Implementation Results

Prototype filter of FBMC is simulated first in Modelsim 10.4 and filter input and output are given with Fig. 3.

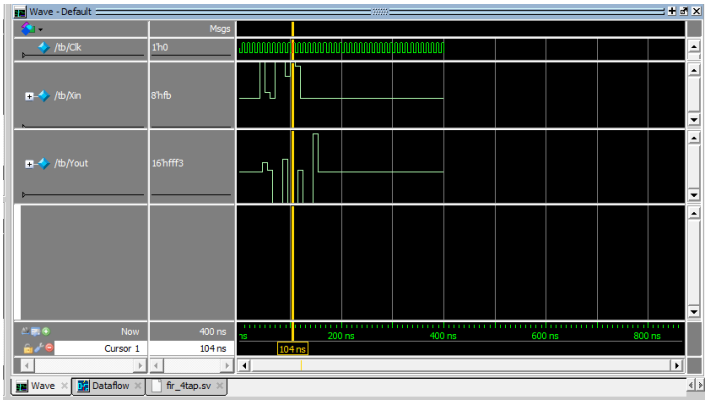


Figure 3. Modelsim display of FIR filter

After Modelsim simulation, the prototype filter is realized with Vivado 2017.4 with HDL programming. The obtained display of prototype filter schematic is illustrated in Fig.4 that has a complex structure with 45 cells, 25 I/O ports and 75 nets. At the end of the hardware implementation with xc7z020clg484-1 FPGA kit, obtained resource utilization is showed in Table 1.

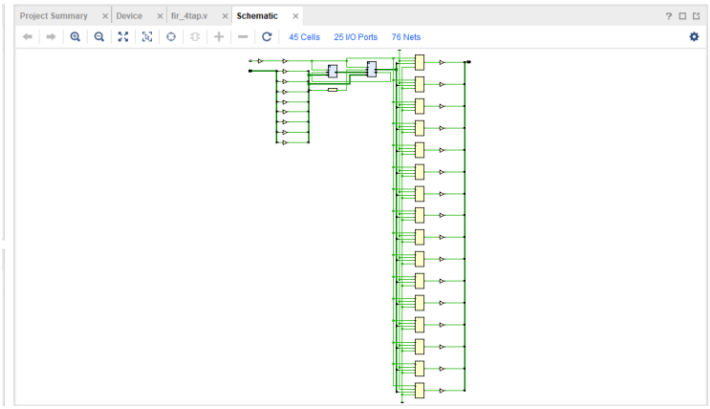


Figure 4. Shematic display of FIR filter

TABLE 1. Resource Utilization of FBMC Transmitter

	Power (Dynamic)	LUT	FF	IO	DSP
Prototype Filter	42.817	38	63	50	3
IFFT	92.123	2862	1586	253	10
OQAM	13.415	343	77	0	0
Total	153.936	5068	3482	384	26

FFT/IFFT structure uses Radix 2 algorithm that works for high throughput applications. Used IFFT length is 256 and real and imaginary data are loaded into an internal 256 × 16 register file. Table 1 presents resouce utilization of FBMC transmitter for power, LUT, FF, IO and DSP. Maximum power consumption is obtained in IFFT application because of its complex structure. Also, utilization of LUT, FF I/O port number and DSP are more used for IFFT application. The number of FF for OQAM processing is a little higher than prototype filter processing while LUT utilization of OQAM is 343 higher than prototype filter.

TABLE 2. Resource Utilization of OFDM Transmitter

	Power (Dynamic)	LUT	FF	IO	DSP
IFFT	97	3343	2833	-	16
OQAM	1	109	20	-	0
Total	1064	3599	3006	-	109

Take into consideration [8] reference, Table 2 is formed for comparison with our purposed study. In Table 2, since used IFFT length is 512, processing complexity does not show fair comparison. Due to structure of OFDM prototype filter step isn't exist in this table naturally and number of I/O is not presented by authors. When total case is considered in Table 2, total power constumption, LUT, FF and DSP consuming of OFDM are more higher than FBMC for all these reasons we explained.

4. CONCLUSIONS

This paper presents a study investigated on FBMC for next generation communication as a 5G mobil candidate. The prototype filter of FBMC is designed and simulated in Modelsim program then the same prototype filter is realized in Vivado with HDL codes in FPGA kit. The transmitter of FBMC was realized in Matlab in previous studies, so the transmitter of FBMC applicated on FPGA with HDL code production. This paper concludes with a comparison OFDM application with our purposed study and conclusions are given with tables. This paper exhibits that FBMC is very strong candidate of 5G for next generation communication systems.

References

J. Nadal, C. A. Nour, A. Baghdadi, Design and evaluation of a novel short prototype filter for FBMC/OQAM Modulation, IEEE Access, 6 (2018) 19610 – 19625.

M. Schellmann, FBMC-based air interface for 5g mobile: Challenges and proposed solutions, 9th Int. Conf. on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Commun. (CROWNCOM), 2014, 102-107.

H. Lin, M. Gharba, P. Siohan, Impact of time and carrier frequency offsets on the FBMC/OQAM modulation scheme, Signal Process. 102 (2014) 151–162.

H.Shousheng, M. Torkelson, A new approach to pipeline FFT processor, in Proc. Int. Parallel Process. Symp. (IPPS), 1996 766–770.

Y.N. Chang, An Efficient VLSI Architecture for Normal I/O Order Pipeline FFT Design, IEEE Trans. Circuits Syst. II. 55, 12,(2008) 1234–1238.

K.J. Yang, S.H. Tsai, G. C. H. Chuang, MDC FFT/IFFT processor with variable length for MIMO-OFDM systems, IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) systems. 21,4, 2013.

M. Garrido, J. Grajal, M. A. Sanchez, O. Gustafsson, Pipelined Radix-2K feed forward FFT architectures, IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) systems, vol. 21, no. 1, 2013.

J. Nadal, C. A. Nour, A. Baghdadi, Low-complexity pipelined architecture for FBMC/OQAM transmitter, IEEE Transactions On Circuits And Systems, 63 (2016) 19-23.

[9] M. Bellanger, Specification and design of a prototype filter for filter bank based multicarrier transmission, in Proc. IEEE ICASSP, 2001, vol. 4, pp. 2417–2420.

COVID-19 (Koronavirüs) Verilerin Analizi ve Veri Görselleştirilmesi

COVID-19 (Coronavirus) Data Analysis and Data Visualization

Sedat TURAN*[1,a], Mete YAĞANOĞLU[2,b]

[1]*Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Refahiye Meslek Yüksekokulu, 24300, Erzincan*

[2]*Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum*

Öz

Pandemiye dönüşen COVID-19 hastalığı, ilk defa Çin'in Wuhan kentinde 31 Aralık 2019 yılında görülmüştür. Virüsün yaygınlaşması ile 11 Mart 2020 yılında Türkiye'de ilk vaka görülmüştür. Bu çalışmada amaç, 2020 yılı Koronavirüs data setlerini Anaconda Navigator üzerinde Python programlama dili kullanarak veri bilimi adımları ile analiz edilmesi ve dünya çapında COVID-19 salgın hastalık hakkında doğru şekilde anlaşılmasını sağlamak için matematiksel analizler yapılmış ve görselleştirme sonuçları elde edilmiştir. Analiz ve görselleştirme işlemlerinde "pandas, numpy, matplotlib, seaborn," kütüphanelerinden faydalanılmıştır. Kullanılan veriler COVID-19 bilgilerini hızlı ve şeffaf bir şekilde duyuran KCDC (Kore Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri) ve yerel yönetimlerin rapor materyallerine dayalı yapılandırılmış 2243 adet hasta bilgisi içeren veri setlerinden oluşmaktadır (22/01/2020-04/03/2020). Çalışmada kullandığımız veri seti içerisinde; aykırı verilerin (outlier) temizlenmesi, gürültü verilerinin düzeltilmesi, tutarsızlıkların giderilmesi, eksik değerlerin doldurulması, veriyi yok sayma, işleme alınmaması, eksik alanların otomatik olarak doldurularak veri işleme aşamaları yapılarak veri setlerinden anlamlı sonuçlar elde edilerek görselleştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Analiz, Covid-19, Görselleştirme, Python, Veri Bilimi

Abstract

COVID-19 disease, which turned into a pandemic, was first seen in Wuhan, China on December 31, 2019. With the spread of the virus, the first case was seen in Turkey on March 11, 2020. The aim of this study is to analyze the 2020 coronavirus datasets with data science steps using the Python programming language on the Anaconda Navigator, and to provide a correct understanding of the COVID-19 epidemic worldwide, mathematical analyzes and visualization results were obtained. "Pandas, numpy, matplotlib, seaborn" libraries were used in analysis and visualization processes. The data used consists of KCDC (Korea Disease Control and Prevention Centers), which quickly and transparently announces COVID-19 information, and 2243 data sets containing patient information structured based on local governments' report materials (22/01/2020 - 04/03/2020). In the data set we used in the study; Cleaning out the outlier, correcting the noise data, eliminating the inconsistencies, filling missing values, ignoring the data, not processing it, filling the missing fields automatically and performing the data processing stages, meaningful results were obtained from the data sets and visualized.

Keywords: Analysis, Covid-19, Data Science, Python, Visualization

1. Giriş

Tarih boyunca etkili olan virüsler, binlerce insanın hayatını kaybetmesine yol açmıştır. SARS ve MERS olarak bildiğimiz ancak daha sonraları virüs ailesinin bir üyesi olan bu Korona virüsler, geçmişi çok eski değildir. SARS, uzak doğuda 2002- 2003 yıllarında ortaya çıkarken, MERS ise Suudi Arabistan'da 2012 yılında ortaya çıkmıştır. Çin'in Wuhan kentinde COVID-19 ilk defa 31 Aralık 2019 yılında görülmüştür. Dünya, Aralık 2019'dan bu yana yeni bir korona virüsün neden olduğu ve şiddetli akut solunum sendromu koronavirüs 2 (SARS-CoV-2) olarak adlandırılan ölümcül bir hastalık ile mücadele etmektedir. Koronavirüsler (CoV) büyük bir virüs ailesidir. Kendi kendini sınırlayan hafif enfeksiyon dediğimiz toplumda yaygın görülen soğuk algınlığı tablolarından, Ağır Akut Solunum

Sendromu (Severe Acute Respiratory Syndrome, SARS) ve Orta Doğu Solunum Sendromu (Middle East Respiratory Syndrome, MERS) gibi daha ciddi enfeksiyon tablolarına neden olabilmektedir (Afyon Kocatepe Üniversitesi, t.y.; Khanam, Nowrin ve Mondal, 2020). Korona virüslerin çoğunlukla soğuk algınlığına sebep olan HCoV-229E, HCoV-OC43, HCoV-NL63 ve HKU1-CoV tipleri insanlarda bulunan ve insandan insan kolaylıkla bulaşabilen çeşitli alt tipleri bulunmaktadır. Korona virüsün hayvanlarda saptanan birçok alt türü insanlara etki ederek, vücut fonksiyonlarında ağır hastalık tablolarına neden olabileceği bilinmektedir. SARS-CoV önceleri bilenmeyen bir virüs olarak ortaya çıkmış olsa da , 2003 yılında ilk uluslararası sağlık acil durumu olarak yüzlerce insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur. Yapılan detaylı araştırmalar sonucunda, MERS-CoV'un tek hörgüçlü develerden, SARSCoV'un ise misk kedilerinden insanlara bulaştığı ortaya çıkmıştır. MERS-CoV virüsü ilk vakası Nisan 2012'de Ürdün Zarqa'da bir hastanede, daha sonra Eylül 2012'de Suudi Arabistan'da insanlarda tanımlanmış. Çin'in Wuhan kentindeki bir deniz ürünleri toptancı pazarında 2019 yılının Aralık ayında, yeni bir koronavirüs tespit edilmiştir. Çin deki Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) Ülke Ofisi 31 Aralık 2019'da, etiyolojisi bilinmeyen pnömoni vakalarının Çin'in Hubei eyaletinin Vuhan şehrinde olduğunu bildirmiştir. Yeni tespit edilmiş bir koronavirüs olduğunu ve bunun daha önce insanlarda tespit edilmemiş bir virüs olduğunu bildirmişler. DSÖ tarafından, 7 Ocak 2020'de 2019- nCoV olarak tanımlanmış. DSÖ, resmi olarak COVID-19 koronavirüsü olarak adlandırılmış ve SARS CoV virüsüne yakın benzerliğinden dolayı SARS-CoV-2 olarak isimlendirilmiştir (T.C. Sağlık Bakanlığı, 2020; Jia, Li, Jiang ve Guo, 2020; Şenol ve Bilsel, 2020; Karakaya, 2020). . Wuhan'da hastalık tespit edilmiş hastaların akciğerlerinden alınan sıvı numunelerinden virüsün izole edildiği 12 Ocak tarihinde tüm dünyaya bildirilmiştir (Spiteri vd., 2020).

Güney Kore'de korona virüs salgını ilk enfekte vaka 20 Ocak 2020'de ortaya çıktı. Hızlı yayılmanın etkili olduğu Güney Kore' de, ilk enfekte vakadan kısa süre sonra 29 Mart 2020 de elde edilen vaka sayısı 9583 olduğu bildirilmiştir. Bu hızlı yayılmanın, ülke için ülke çapında bir krize neden olabileceği düşünülmektedir (Al-Rousan ve Al-Najjar, 2020).

Khanam, Nowrin ve Mondal (2020) yaptıkları analiz çalışmalarında, COVID-19'un yayılması üzerindeki etkisini araştırırken sıcaklık faktörünü incelemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında, erkeklerin bu hastalığa daha yatkın olduğunu ve yaşlıların daha fazla risk altında olduğunu erkek/kadın enfeksiyonlarının karşılaştırılmasında veri görselleştirmesi yaparak ifade etmişlerdir.

Parikh, Shah ve Bhatt (2020), Korona etkisinin veri analitiği ve görselleştirme teknikleri üzerine bir çalışma yapmışlar. Çalışmalarında, Python ve Knime'a dayalı veri analitik araçları kullanarak grafikler çizmiş ve görselleştirme elde etmişlerdir. Bu çalışma araştırmacılar veri setleri kullanılarak, yaş ve cinsiyete göre ölüm ve iyileşme oranı, dünya genelinde onaylanmış, aktif ölümler ve iyileşmiş vakalar için karşılaştırma eğilimleri, Dünya ve Hindistan haritasında logaritmik vakaların haritasının çıkarılmasını amaçlamıştır.

Jatana ve Rai (2020), çalışmalarında Kornona virüs nedeniyle mevcut durum ve yayılmanın nedenini veri setlerini kullanarak analiz ve görselleştirme yapmışlar. Çalışmalarında, ileride oluşabilecek vakaları tahmin etmek ve en eğilimli alanları vurgulamak için makine öğrenimi modelini kullanılmışlar. Araştırmacılar bu çalışmayı yöntem olarak on aşamaya ayırmışlar. Bunlar; mevcut senaryo, ölenlerin yaş dağılımı, vefat edenlerin cinsiyet dağılımı, enfeksiyon nedeni, hastaların durumu, dünya haritasında etkilenen yerler, şehir içi hasta dağılımı, onay zamanı, insan testi ve onaylanan vakaların grafiksel gösterimi ve elde edilen sonuçlara yapılan önerilerdir.

Castorina, Iorio ve Lanteri (2020), Mikroskobik büyüme yasalarıyla yayılan Koronavirüs hakkında veri analizi çalışması yapmışlar. Yapılan çalışmada, Gompertz yasasını dikkate alarak bir Gompertz yasasının bir genellemesi önerilmiş ve seçimi yapılan farklı ülkelerde enfeksiyonun zaman içindeki evriminin analizi ve lojistik kanunu oluşturulmuş. Yayılmanın kontrol altında olup olmadığını doğrulamak için günlük veriler, elde edilen uyumlarla karşılaştırılması gerektiği önerilmiş. Yapılan analiz sonuçlarına göre, Çin de ulusal hükümetin güçlü çevreleme politikası nedeniyle yayılmanın Çin'de doygunluğa ulaştığı, ancak Singapur'da son zamanlarda gözlemlenen büyük bir büyüme oranı ve yeni bir güçlü yayılmanın başladığını gözlemlemişler.

Karadeniz ve Çağlar (2020), çalışmalarında COVID19 salgınına ilişkin yoğun olarak vaka verilerini analiz etmede yapay zekâ çalışmaları kullanarak hastalığın tespitine ve yayılımına odaklandığını vurgulamışlardır. Araştırmalarda Covid19 konusunda veri setlerinin de kullanılmasıyla çok sayıda araştırma literatüre kazandırılmış ve yeni araştırmaların da devam ettiğini ifade etmişler. Araştırmalarda kullanılacak yapay zekâ uygulamalarında araştırmanın kalitesi; verinin yoğunluğu, çeşitliliği, doğruluğu ve hızı oldukça önemli olduğunu vurgulamışlar.

Çalışmamızda Covid-19 verilerinin anlamlı hala getirilmesi için Veri Biliminden faydalanılmıştır. Veri bilimi, bilimsel yöntemleri, algoritmaları, süreçleri ve sistemleri kullanan verilerden değer elde etmek üzere disiplinler arası bir alandır. Veri uzmanları bir dizi beceriyi bir araya getirerek kullanmaktadır. Başlıca beceriler olarak verileri analiz etmek üzere bilgisayar bilimi, istatistik ve iş bilgisi olarak söylenebilir. Veriler çeşitli kaynaklardan toplanabilir bunlar; web, akıllı telefonlar, algılayıcılar, müşteriler vb. İşletmelerin daha inovatif ürünler, daha iyi kararlar almak, trendleri ortaya çıkarmak ve servisler oluşturmak üzere kullanabileceği öngörüleri "Veri Bilimi" üretir. İyi bir inovasyon yapılabilmesi için temel taş olarak nitelendirilen "veri" nin değeri önemlidir. Verinin değeri ise ancak veri uzmanlarının analizler sonucunda elde edeceği bilgilerden ve bu doğrultuda gerçekleştireceği eylemlerden gelir (Oracle Türkiye, t.y.).

Bir problem etrafında Veri bilimi ilk olarak; "problem nedir? faydaları nedir? ve nasıl çözebilir?" sorularını sorarak işe başlar. Bu işlemin ardından "Veri Hazırlama" adımı ile devam eder. Veri hazırlık sürecini üç adımda genel başlıklar halinde inceleyebiliriz.

- Veri elde etme/seçimi
- Veri işleme/dönüştürme
- Veri görselleştirme

Bu aşamalardan sonra istenirse probleme en uygun algoritma seçimi yapılarak sonuçlara ve bu sonuçlardan da iyileştirme yapılabilir (Taşçı, 2019).

2. Veri İşlemleri

2.1. Verilerin Elde Edilmesi

Ortak tehdit olduğu durumlarda zamana karşı yarışta araştırmacılar, acil olarak etkin çözümlerin bulunması için farklı disiplinlerin birleştiği birlikte iş yapma süreçleri azami düzeye çekilmiş ve ortak aklın ön planda tutulduğu yaklaşımların izlenmesi gerekmiştir. TÜBİTAK tarafından her zorluğun yanında aynı zamanda bir fırsat oluşturabileceği düşüncesiyle, araştırmacılar farklı formatlarda gerekli verileri elde edebileceği "COVID-19 Türkiye Web Portalı" oluşturulmuştur. Gelişmeye açık ve yararlı olabilecek bilgileri paylaşma amacıyla oluşturulmuş bu portal, elektronik (sanal) ortamda COVID-19 araştırma ekosistemini ortak bir platformda buluşturacaktır (TUBİTAK, t.y.) .

Salgın sürecinde diğer ülkelerinde buna benzer portal yapılar bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan veriler uluslararası değerli olan kaynaklardan veri seti (.csv) halinde DS4C (COVID-19 için Veri Bilimi) Projesinin kullandığı, KCDC (Kore Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri) tarafından oluşturulan veri setleri olup, buradan temin edildi (https://www.kaggle.com/kimjihoo/coronavirusdataset 01/02/2021 tarihinde erişildi). Veri setlerinden elde edilen bilgilerin görselleştirilmesinde 22 Ocak 2020'den 04 Mart 2020' ye kadar olan süreyi kapsamaktadır (KCDC, 2020). Dünya Sağlık Örgütü (WHO), Johns Hopkins Üniversitesi Sistem Bilimi ve Mühendisliği Merkezi (JHU-CSSE) tarafından COVID-19 Veri Havuzu ve diğer kurumların tümü, doğrulanmış enfekte vaka, ölüm ve iyileşme sayılarına ilişkin veri setini muhafaza etmektedir. İsteyen araştırmacılar GitHub deposu aracılığıyla ücretsiz olarak erişilebilir (JHU-CSSE, t.y.).

Veri setlerinde vakanın bölgesel bilgileri, hasta bilgileri ve vakaya yapılan işlemleri gibi verileri içermektedir. Veri setlerinde değerlendirmeye alınan süre aralığında 2243 adet hasta bilgisi kullanılmıştır. Bu çalışma, cinsiyet, bölge, enfeksiyon nedenleri, doğum yılı ve taburcu edilme veya

hastalık tarihleri, onaylanmış iyileşme ve ölüm vakaların sayısı gibi veriler analiz edilerek görselleştirilmesi yapılmıştır.

2.2. Veri İşleme

Hem "veriyi sindirmek" hem de makine öğrenmesi modellerinin veriden daha doğru ve daha verimli şekilde yararlanmasını sağlamak için kullanılan yöntemler/teknikler bütüne "veri hazırlama ve ön işleme" adımı olarak tanımlanmaktadır. Veri odaklı problemlerin çözümünde "eksik veri, gürültülü veri ve tutarsız veri" gibi 3 temel kategoriye ayırmak mümkündür. Kullanacağımız veri kümesi içerisinde eksik değerler bulunabilir, eksik veri içermesi durumunda uygulanabilecek yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir(Kılınç, 2019);

- Eksik öznitelik değerleri olan veri satırlarını (örnekleri) kullanma, onları silme işlemi.
- Eksik öznitelik değerlerini elle doldurması işlemi.
- Eksik öznitelik değerleri için global bir değişken kullanarak doldurma.
- Eksik öznitelik değerlerini ortalama değer ile doldurma işlemi.
- Aynı sınıfa ait kayıtların öznitelik değerlerinin ortalaması ile doldurma işlemi.
- Olasılığı en fazla olan öznitelik değeriyle doldurulması.
- Regresyon yöntemi ile sayısal eksik değerleri tahmin edilmesi ve doldurulması işlemi.

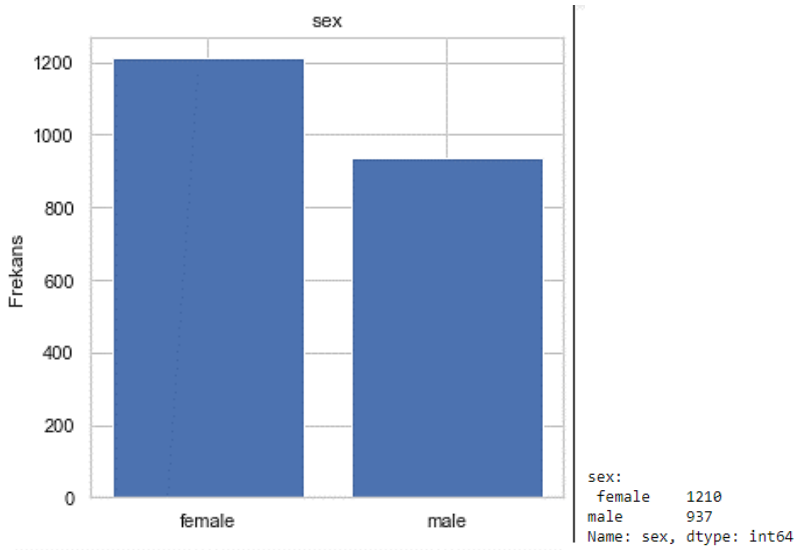
Kullandığımız veri seti içerisinde aykırı verilerin(outlier) temizlenmesi, gürültü verilerinin düzeltilmesi, tutarsızlıkların giderilmesi, eksik değerlerin doldurulması, veriyi yok sayma, işleme alınmaması, eksik alanların otomatik olarak doldurması aşamaları yapılmıştır. Veri seti içerisinde öncelikle dtype olarak bilinen veri tipleri ve kullanılan bellek hakkında bilgi neler olduğunu görebilmek için sütunlar ve bu sütunlarda neler olduğu liste halinde kod çalıştırılarak görülür. Elde edilen bilgilere bakıldığında bazı sütun bilgilerinin "RangeIndex" değeri ile aynı iken bazı sütun değerlerinin eksik olduğu görülmektedir. Bu bilgiler doğrultusunda toplam kaç hücrede eksik değer (NaN ya da None) olduğu ve veri seti içerisinde özniteliklerin kaç satır değer almadığı bulunur. Eksik değerlerin daha iyi anlaşılması ve satır bazında yüzdesini görmek için ayrıca bir fonksiyon oluşturulmuş, bu fonksiyon ile hangi özniteliğin eksik veri yüzdesinin fazla olduğu görülmüştür. Bu işlemin bir sonraki adımda bu tarz özniteliğin kullanılması mantıklı olamayacağından veri kümesinden kaldırılmıştır, çünkü o sütunun çalışmada sonuç verirken çok bir yardımı dokunmayacaktır. Bu öznitelik kaldırma işleminde threshold (eşik) değeri alacak şekilde dataframe üzerinde kullanılır, sonuç olarak belli bir değer yüzdesinin üzerindeki "null" değer içeren kolonlar silinmiş olur.

Veri setinde "Şehir" özniteliği sütununda/kolonunda boş hücreler, olasılığı en fazla olan öznitelik değeriyle (şehir ismi) doldurularak daha anlamlı hale getirilmektedir. Bazı durumlarda özniteliklerde boş olan hücrelere benzersiz değerlerden ilki ile doldurulabilmektedir. Veri setlerinde bazen sütun verilerinde boş olan yerlere ortalama değer ataması yapılabilir. Veri setimizde yer alan "doğum yılı" öznitelikleri sütununda bazı hücrelerde NaN (Not a Number) değerler olduğu tespit edilmiş ardından değerlerin ortalaması elde edilerek atama işlemi yapılmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken bir husus, ortalama alma metodu yalnızca sayısal verilerle kullanılabilir.

2.3. Veri Görselleştirme

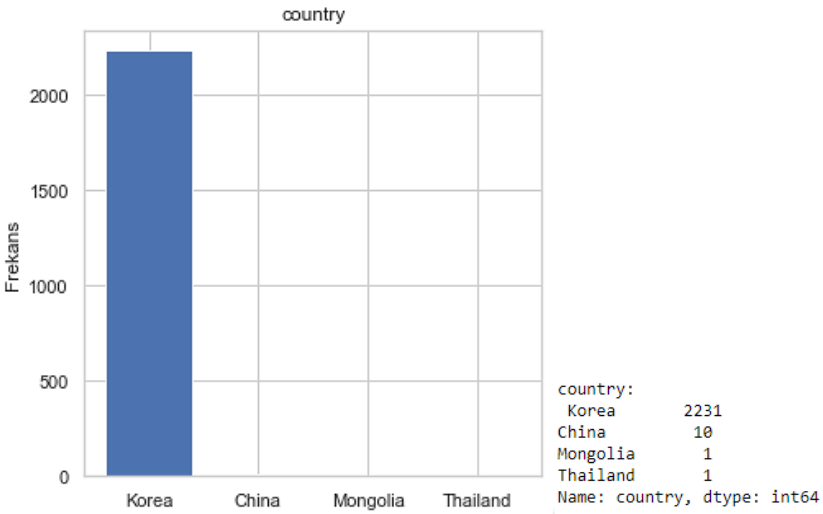
Veri görselleştirme, ham verilerin etkili, hızlı karar almada ve kolayca insanlar tarafından anlaşılır görsellere dönüştürülme sürecine verilen tanımdır. Kullanılabilecek görselleştirme yöntemini belirlemekte veri setinin boyutları ya da nitelikleri bu aşamada büyük özen gösterilmelidir. Veri setinin ne kadar büyük boyutlarda olması yapılacak görselleştirmelerin anlamlandırılmasını o kadar zorlaştırmaktadır. Bu problemin çözüm yolu olarak büyük veri setlerini görselleştirmek için statik yerine dinamik etkileşime izin veren görsel çıktılar üretmek gerekir. İyi veri seti ve yapılan iyi işlemlerinden ardından mevcut veri setinin iyi bir açıklayıcı görselleştirmesi ile pandeminin davranışını anlamak için ileriye dönük konuyla ilgili öngörü sağlayacaktır Parikh, Shah ve Bhatt, 2020).

Çalışmada veri görselleştirme kütüphanesi olarak "Matplotlib" ve "Seaborn" kütüphanelerinden faydalanılmıştır. Veri görselleştirmesinde 2 ve 3 boyutlu çizimler yapmamızı sağlayan Matplotlib, temel Python kütüphanesidir. Matplotlib, 2 boyutlu çizimlerde genellikle kullanılırken, 3 boyutlu çizimlerde başka kütüphanelerden yararlanılır. Seaborn kütüphanesi, Matplotlib kütüphanesine yüksek seviye arayüz sağlayan bir kütüphanedir. Seaborn ile estetik temalar kullanma, özel renk paleti belirleme, etkileyici istatiksel grafikler, dağılımların kolay ve esnek sergisi, matris ve dataframe bilgilerinin görselleştirilmesi yapılabilmektedir(Alabaş, 2019; Balık, 2018). "barPlot" veya "plot" kullanılarak dikey veya yatay çubuklar haline "cinsiyet, ülke, bölge, enfeksiyon sebebi" özniteliklerinin çubuk grafiği görselleştirilmesi oluşturulmuştur. Şekil 1'de görüldüğü gibi veri setimiz de 1210 bayan, 937 erkek verisi bulunmaktadır.



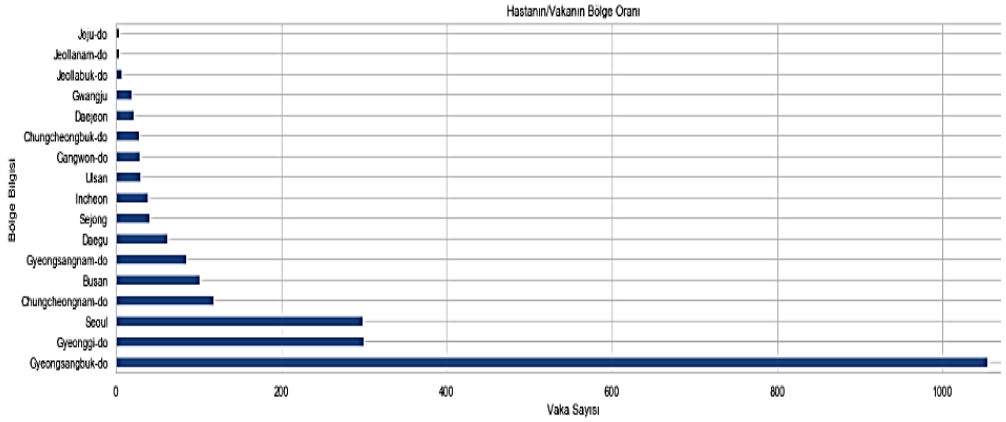
Şekil 1. Cinsiyet dağılımı grafiği

Şekil 1'de görülüyor ki; cinsiyet dağılım grafiği incelendiğinde toplam vaka sayısının %56.36 ini bayan, %43.64 erkek hasta vakaları oluşturmaktadır.

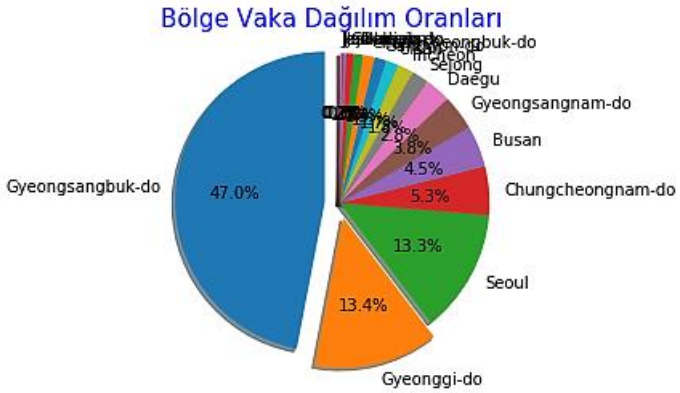


Şekil 2. Vaka-Ülke dağılım grafiği

Şekil 2'de görülüyor ki; vakaların ülke dağılımı incelendiğinde "Korea, China, Mongolia, Thaliand" olmak üzere dört ülkede tespit edilmiş ve en yüksek vaka sayısı ile 2231 değeriyle Kore ülkesi olduğu görülmektedir.



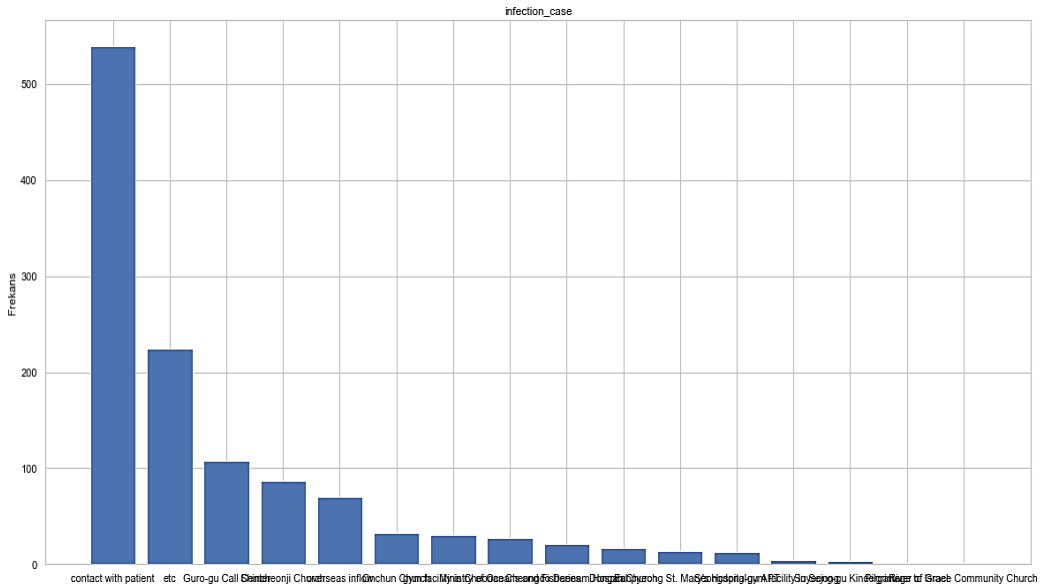
(a)



(b)

Şekil 3. (a) BarPlot vaka-bölge dağılım grafiği ve **(b)** PieChart vaka-bölge dağılım grafiği

Şekil 3. görselleştirmesinde ayrıca "PieChart" kullanılmıştır. PieChart yani Pasta Grafik, verilerin bir dizi görüntülenebildiği dairesel istatistiksel dağılım grafiğidir. Grafiğin alanı, verilen verilerin toplam yüzdesi grafiğin alanını oluşturur. Pasta dilimlerinin alanı, veri bölümlerinin yüzdesini temsil eder. Her bir dilime kama denir ve kamanın alanını ilgili kama yayının uzunluğu ile belirlenir. Şekil 3'de bölge vaka dağılımı incelendiğinde, en fazla vakanın "Gyeongsangbuk-do / 1054", en az vakanın ise "Jeju-do / 4" olduğu görülmektedir. Vaka-bölge dağılımı yüzdelik olarak incelendiğinde ise en fazla oran sırası ile; Gyeongsangbuk-do %47, Gyeonggi-do %13.4 ve Seoul %13.3' dür.




```
infection_case:
 contact with patient              540
etc                                224
Guro-gu Call Center                108
Shincheonji Church                  87
overseas inflow                     70
Onchun Church                       33
gym facility in Cheonan             30
Ministry of Oceans and Fisheries    27
Cheongdo Daenam Hospital            21
Dongan Church                       17
Eunpyeong St. Mary's Hospital       14
Seongdong-gu APT                    13
gym facility in Sejong               4
Suyeong-gu Kindergarten              3
Pilgrimage to Israel                 1
River of Grace Community Church      1
Name: infection_case, dtype: int64
```

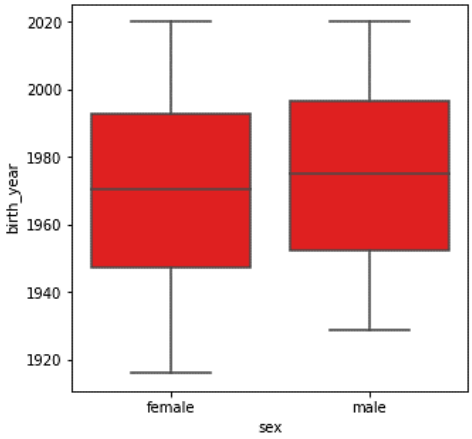
Şekil 4. Enfeksiyon bulaşma nedenlerinin sayısal dağılım görselleştirilmesi

Şekil 4' da verilen görselleştirme incelendiğinde, en fazla enfeksiyon bulaşma sebebi 540 adet veri ile "hasta ile temastan" kaynaklandığı görülmektedir. En az enfeksiyon bulaşma sebebi incelendiğinde kiliseden bulaşma sayısı "bir" olarak görülmektedir. Vakaların cinsiyete göre doğum tarihi ortalamaları analiz edildiğinde, erkeklerin doğum tarihi ortalamasının daha yüksek olduğu yapılan çalışmada görülmüştür. Program satırı çalıştırıldığında elde edilen cinsiyet-doğum tarihi ortalaması Şekil 5'de verilmiştir.

	sex	birth_year
1	male	1977.051017
0	female	1973.338338

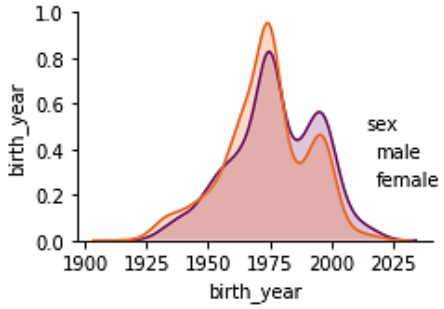
Şekil 5. Vakaların cinsiyete göre doğum tarihi ortalaması

Seaborn kütüphanesinin kutu grafik görselleştirmesi kullanılarak vakaların, cinsiyete göre doğum tarihi görselleştirilmesi aşağıda Şekil 6 'da görülmektedir. Kutu grafiği incelendiğinde, erkek vakaların doğum tarihi ortalaması bayan vakaların doğum tarihi ortalamasından daha fazla olduğu görülmektedir. Kutu grafiği (veya kutu ve çizgi grafiği), nicel verilerin dağılımını, değişkenler arasında veya kategorik bir değişkenin seviyeleri arasında karşılaştırmaları kolaylaştıracak şekilde ifade etmede kullanılmaktadır.



Şekil 6. Vakaların cinsiyet-doğum tarihi dağılımının "Kutu grafiği" ile görselleştirilmesi

Aşağıda Şekil 7'de görülüyor ki; Seaborn kütüphanesi "pairplot" kullanarak vakaların cinsiyete göre doğum tarihi görselleştirilmesi verilmiştir. "pairplot", girdi olarak birçok bağımsız değişken kullanır. Pairplot(), tüm veri çerçevesi boyunca sayısal sütunlar için çift yönlü ilişkiler çizer. Bir veri kümesindeki çoklu çift değişkenli iki değişkenli dağılımları çizmek için pairplot () işlevini kullanabiliriz. Bu, bir DataFrame'deki değişken (n, 2) kombinasyonu için bir grafik matrisi olarak ilişkisini göstermektedir(Rastagi, 2020;Veri Bilimcisi, t.y.)



Şekil 7. Vakaların cinsiyet-doğum tarihi dağılımının "seaborn" k ütüphanesi ile görselleştirilmesi

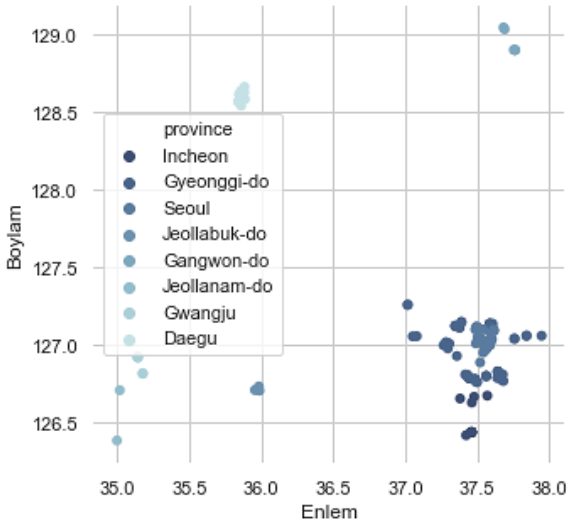
Şekil 7'de doğum tarihi ve cinsiyet dağılımı incelendiğinde 1973 ve 1977 tepe noktalar olduğu görülmektedir. Vakaların bölge ve şehir ilişkisini gruplandırma fonksiyonunu kullanarak elde edebiliriz. Yapılan işleme ait sonuç ekran görüntüsü Şekil 8'de görülmektedir.

```
province  city
Busan     Buk-gu          3
          Busanjin-gu    11
          Dongnae-gu     29
          Gangseo-gu      3
          Geumjeong-gu    4
                         ..
Ulsan     Buk-gu          5
          Dong-gu         5
          Jung-gu         3
          Nam-gu         15
          Ulju-gun        2
Length: 149, dtype: int64
```

Şekil 8. Vakaların bölge ve şehir ilişkisinin "groupby" fonksiyonu ile elde edilmesi

Vakaların tespit edildiği navigasyon (enlem-boylam) ile bölge yoğunluk ilişkisinin görselleştirilmesi, "seaborn" kütüphanesinde "scatterplot" kullanarak yapılmıştır. Dağılım grafiği "scatterplot"; "scatter chart, scatter graph" dağılım grafiği olarak da bilinir. Dağılım grafiği iki farklı sayısal değişken için değerleri temsil etmek üzere noktalar kullanır. Her noktanın yatay ve dikey eksendeki konumu, ayrı bir veri noktası için değerleri göstermektedir(Yi, 2019). Değişkenler arasındaki ilişkileri gözlemlemek için

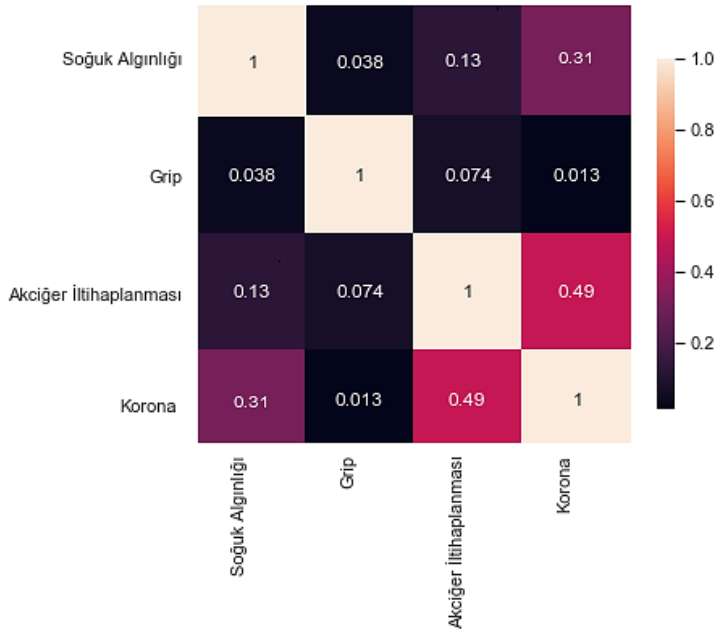
dağılım grafikleri kullanılır. Vakaların tespit edildiği enlem-boylam konum yoğunluk görselleştirilmesi Şekil 9'da verilmiştir.



Şekil 9. Vakaların tespit edildiği navigasyon (enlem-boylam) ile bölge yoğunluk ilişkisi

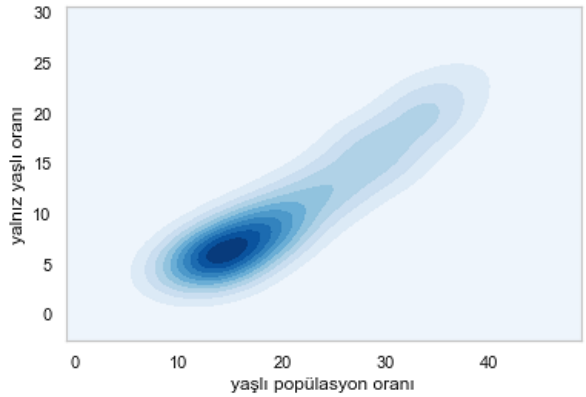
Şekil 9'da görülüyor ki; en fazla vakalar sırası ile "Incheon, Gyeonggi-do ve Seoul" bölgelerinde olduğu görülmektedir. Enlem ve boylam olarak yoğunluk bölgeleri renk tonlaması koyu renkten açık renge göre dağılım göstermektedir. Görselleştirme incelendiğinde enlem olarak 37.0-38.0, boylam olarak 126.5-127.5 koordinatları yoğun kesişim bölgesi olduğu görülmektedir.

Vaka olan insanlarda bazı hastalıklar gözlemlenmektedir. Bu hastalıkların vakalarda görülme trendleri "heatmap" olarak aşağıdaki gibi görselleştirilmiştir (Şekil 10). Isı haritası, verilerin iki boyutlu grafik gösteriminin yapılabildiği matristeki tek tek değerlerin renkler olarak temsil edildiği görselleştirme grafiğidir. Isı haritası, veri değerleri grafikte renkler olarak temsil edilir ve bilgilerin renkli bir görsel özetini amaçlamaktadır(Ebrahim, 2020).



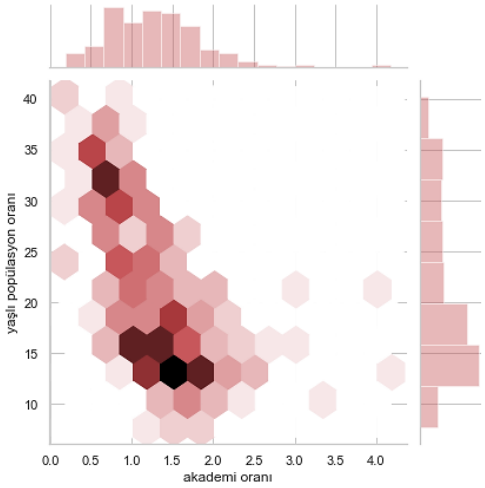
Şekil 10. Hastalıkların vakalarda görülme trendlerinin "heatmap" olarak görselleştirilmesi

Şekil 10'da görülüyor ki; Koronavirüs hastalığına yakalanan kişilerin, "akciğer iltihaplanması, grip ve soğuk algınlığı" ilişkisinde en fazla akciğer iltihaplanması olduğu görülmektedir. "seaborn" kütüphanesinin "kdeplot" özelliği kullanılarak "yaşlı popülasyonu" ile "yalnız yaşlı oranı" ilişkisi görselleştirilmiştir. histograma benzer Çekirdek yoğunluğu tahmini (Kernel Density Estimate KDE) grafiği, bir veri kümesindeki gözlemlerin dağılımını görselleştirmek için kullanılan bir yöntemdir. KDE, daha verimli veri görselleştirmesine yardımcı olan birden fazla örnek için tek bir grafik de çizilebilir (Waskom, 2020;Prateek, 2019). Elde edilen görsel Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. "yaşlı popülasyonu" ile "yalnız yaşlı oranı" ilişkisi görselleştirilesi

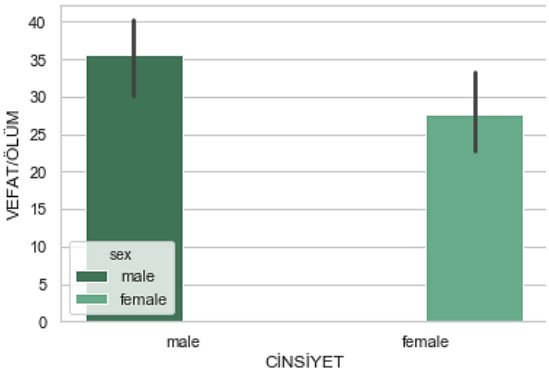
Şekil 11'de görselleştirmeden elde edilen sonuçlara göre; en yaşlı popülasyon ile yalnız yaşlı oranın 15 değerinde yoğun olduğu görülmektedir. Akademi oranı ile yaşlı popülasyon oranı incelendiğinde, "region" veri seti ve "jointplot" görselleştirme fonksiyonu kullanılmıştır (Şekil 12.). Jointplot(), temelde iki değişkenli veriler için iki dağılımı eşleştirme yapmamıza olanak sağlar. İki değişkenli ve tek değişkenli grafiklerle iki değişkenli bir grafik çizilebilir. Hangi ikisini karşılaştırma yapacağımızı "kind" parametresiyle seçilir(Veri Bilimcisi, t.y.).



Şekil 12. "Akademi oranı" ile "Yaşlı popülasyon oranı" jointplot ile görselleştirme

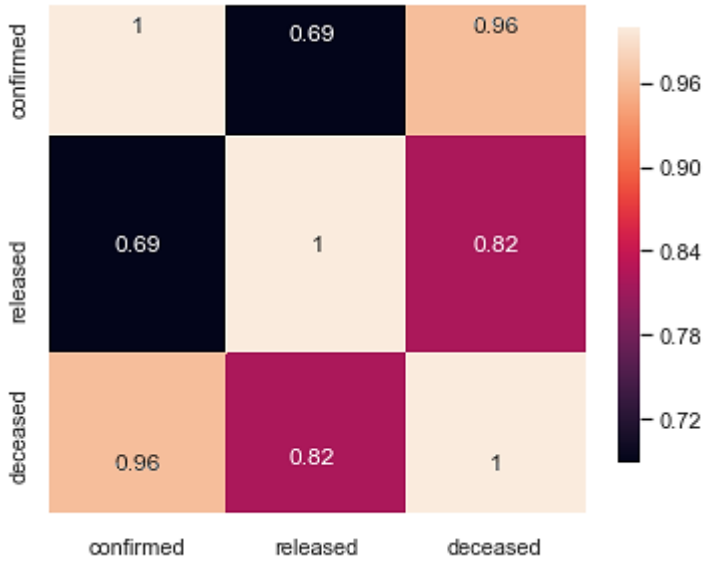
Şekil 12'de görselleştirme incelendiğinde, akademi oranı 1.0-2.0 aralığında ve yaşlı popülasyon oranı 12-13 değer üstünde ilişkinin arttığı görülmektedir. Hastalığa yakalanan insanların cinsiyete göre ölüm oranları Şekil 13'de görselleştirilmesi "barplot" kullanılarak elde edilmiştir. Tam bir veri kümesi üzerinde çalışan barplot() fonksiyonu, varsayılan değer olarak ortalamayı kullanarak bir tahmin yapar ve gösterir. Birden çok gözlemin olduğu her bir kategorilerde, yapılan tahmin etrafında önyüklemeyi de kullanarak güven aralığı hesaplanır, bu işlemin ardından hata çubuklarını kullanarak çizme işlemi gerçekleşir(Veri Bilimcisi, t.y.).

	sex	deceased
1	male	747
0	female	581



Şekil 13. Hastalığa yakalanan insanların cinsiyete göre ölüm oranları

Şekil 13'de görülüyor ki; erkek hastaların ölüm oranlarının bayan hastalardan daha yüksek olduğu görülmektedir. Onaylanmış vaka, taburcu ve ölümle sonuçlanmış durumların ilişkisi Şekil 14'de görülmektedir.



Şekil 14. Onaylanmış vaka, Taburcu ve Ölüm olaylarının Heatmap ile görselleştirilmesi

Şekil 14'de görülüyor ki; ölüm oranları "SeaBorn" kütüphanesi kullanılarak heatmap ile görselleştirilmiştir. Vakaya yakalanan hastaların yüksek oranda ölümle sonuçlandığı, taburcu işleminin oranın daha az olduğu Şekil 14'de görülmektedir.

3. Sonuç

Veri kümelerimizi veri biliminde Python dili kullanarak analiz ettik ve dünya çapında COVID-19 salgınının doğru şekilde anlaşılmasını sağlamak için bu verileri görselleştirdik (Muthusami ve Saritha , 2020). Küresel bir pandemiye dönüşen COVID-19'un yayılış hızı ve sebep olduğu ölümlerin her geçen gün arttığı görülmektedir. Çalışma da Korona virüs salgınını veriler üzerinden inceleyerek salgın hastalık hakkında matematiksel analizler yapılmış ve sonuç olarak görselleştirme yapılmıştır. Veri kümesinin dengeli olması durumunda sonuç oranının yüksek olduğu gösterilmiştir.

Bu çalışmada nirengi noktası olarak kullanılan Güney Kore'de yaşanan süreçten elde edilen veriler ışığında, muhtemel ileride yaşanması beklenen durumun sonucunda ortaya çıkacak sayısal değerlerin büyüklüğü, pandeminin önlenebilmesi adına ileriye dönük kararların alınması gerektiği ortaya koymaktadır.

Kaynaklar

Afyon Kocatepe Üniversitesi-COVID-19 Bilgilendirme Sayfası. (t.y.). Erişim Adresi. https://aku.edu.tr/covid19/

Alabaş, M. (2019, Haziran 29). Python ile veri görselleştirme: matplotlib kütüphanesi-1. *Medium.com*. https://medium.com/datarunner/matplotlibkutuphanesi-1-99087692102b

Al-Rousan, N., & Al-Najjar, H. (2020). Data analysis of coronavirus COVID-19 epidemic in South Korea based on recovered and death cases. *Journal of Medical Virology*, *92*(9), 1603-1608. https://doi.org/10.1002/jmv.25850

Balık, A. (2018, Eylül 29). Seaborn ile veri görselleştirmesi. *Veri Bilimi Okulu*. https://www.veribilimiokulu.com/seaborn-ile-veri-gorsellestirmesi/

Castorina, P., Iorio, A., & Lanteri, D. (2020). Data analysis on Coronavirus spreading by macroscopic growth laws. *International Journal of Modern Physics C*, *31*(07), 2050103.

Ebrahim, M.(2020, Haziran 8). Seaborn heatmap tutorial (python data visualization). *LikeGeeks.com*. https://likegeeks.com/seaborn-heatmap-tutorial/

Jatana, V.,ve Rai, P. (2020). Analysis of coronavirus. *Cancer Detection*. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.18356.60809

JHU-CSSE (t.y.). Novel Coronavirus (COVID-19) Case. Erişim Adresi https://coronavirus.jhu.edu/

Jia, L., Li, K., Jiang, Y., ve Guo, X. (2020). Prediction and analysis of coronavirus disease 2019. *arXiv preprint arXiv:2003.05447*.

Karadeniz, M. & Çağlar, C. (2020). Yapay zekâya dayalı veri analizinin koronavirüs salgını sürecindeki yeri ve önemi. *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Enformatik Doktora Programı*, Erişim Adresi: https://cdn.istanbul.edu.tr/FileHandler2.ashx?

Karakaya, E. (2020, Nisan 25). Covıd-19 krizinin ekonomi, enerji ve emisyonlara etkileri:mevcut durum ve olası post-corona senaryoları. *İklim Haber*. https://www.iklimhaber.org/covid-19-krizinin-ekonomi-enerji-ve-emisyonlara-etkileri-mevcut-durum-ve-olasi-post-corona-senaryolari/

KCDC Korea Centers for Disease Control & Prevention (2020).*DS4C: Data Science for COVID-19 in South Korea.* Erişim Adresi https://www.kaggle.com/kimjihoo/coronavirusdataset

Khanam, F., Nowrin, I., & Mondal, M. R. H. (2020). Data Visualization and Analyzation of COVID-19. *Journal of Scientific Research and Reports*, *26*(3), 42-52. https://doi.org/10.9734/jsrr/2020/v26i330234

Kılınç, D.(2019, Kasım 5). Python ile veri ön işlemeye dalış. *Medium.com*. https://medium.com/@denizkilinc/python-ile-veri-%C3%B6n-i%CC%87%C5%9Flemeye-al%C4%B1%C5%9F-f89f921658bd

Muthusami, R., & Saritha, K. (2020). Statistical analysis and visualization of the potential cases of pandemic coronavirus. *Virusdisease*, *31*(2), 204-208.

Oracle Türkiye, (t.y.). *Veri Bilimi Nedir?*. Erişim adresi https://www.oracle.com/tr/data-science/what-is-data-science.html

Parikh, A., Shah, S., ve Bhatt, V. (2020). Data analytics and visualization techniques of corona ımpact. *International Journal of Computer Science and Network. 9*(4), 147-152.

Prateek, S. (2019, Mayıs 06). Kde plot visualization with pandas and seaborn.*Geeksforgeeks A Computer Science Portal For Geeks*. https://www.geeksforgeeks.org/kde-plot-visualization-with-pandas-and-seaborn/

Rastagi, D.(2020, Temmuz 15). Python - seaborn.pairplot () yöntemi. *Geeksforgeeks A Computer Science Portal For Geeks*. https://www.geeksforgeeks.org/python-seaborn-pairplot-method/

Spiteri, G., Fielding, J., Diercke, M., Campese, C., Enouf, V., Gaymard, A., ... & Ciancio, B. C. (2020). First cases of coronavirus disease 2019 (COVID-19) in the WHO European Region, 24 January to 21 February 2020. *Eurosurveillance*, *25*(9), https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.9.2000178

Şenol, C. ve Bilsel, A. (2020).Türkiye'de covid-19 (coronavirüs) pandemisinin durumu ve algoritmik hesaplamaya göre gelecekteki durum analizi. *Journal Of Social, Humanities And Administrative Sciences*, *6*(25), 535-546. http://dx.doi.org/10.31589/JOSHAS.296

T.C.Sağlık Bakanlığı- COVID-19 Rehberi. (2020, Eylül 03). https://covid19.saglik. gov.tr/TR-66301/covid-19-rehberi.html

Taşçı, N.N. (2019, Mart 24). Veri bilimi nedir ve veri analizi yöntemleri nelerdir.*Veri Bilimi, Big Data, Wordpress ve SEO Blogu*. https://www.analiyz.com/veri-bilimi-nedir-ve-veri-analizi-yontemleri-nelerdir/

TUBİTAK (t.y.).*COVID-19 Türkiye Web Portalı*. Erişim Adresi https://covid19.tubitak.gov.tr/anasayfa

Veri Bilimcisi. (t.y.).*Seaborn'a Hızlı Başlangıç.* Erişim Adresi https://veribilimcisi.com/2017/09/06/seaborna-hizli-bir-baslangic/#Joint%20Plot

Waskom, M. (2020). Seaborn.kdeplot. *Pydata.org.* https://seaborn.pydata.org/generated/seaborn.kdeplot.html

Yi, M. (2019, Ekim 16). What is a scatter plot?. *Chartio-Data Tutorials.* https://chartio.com/learn/charts/what-is-a-scatter-plot/

Stress Estimation Using ECG Signal Data of the Individual by Designed Deep Learning Approach

Mesut TOĞAÇAR*[1, a]
[1]*Fırat University, Vocational School of Technical Sciences, Computer Technology Department, 23119, Elazığ*

Abstract

Stress is a process that can lead to negative consequences of the individual as a result of a physical or emotional impact, causing abnormal movements and attitudes in the individual's behavior. Stress is one of today's popular illnesses and can vary from person to person. Many models for stress measurement have been developed and the reliability rate of the measurements can vary. Realization of this situation may require great costs. In this study, we propose an approach that enables stress measurement on artificial intelligence-based ECG signals. In the proposed approach, a deep learning model designed using ECG signal data is used. As a result of the experimental analysis, an overall accuracy success of 98.82% was obtained. The analysis obtained showed that the proposed approach to stress measurement is promising.

Keywords: Artificial Intelligence, Deep Learning, ECG Signal, Heartbeat, Stress Estimation.

1. Introduction

Motivation of individuals is important in working life (Oktosatrio, 2018). In order for employees to work efficiently, they must avoid stress or the factors that may cause stress must be intervened in a timely manner (Bhui, Dinos, Galant-Miecznikowska, de Jongh, & Stansfeld, 2016). Otherwise, it may cause permanent diseases, psychological deterioration and suicide in individuals (Rosiek, Rosiek-Kryszewska, Leksowski, & Leksowski, 2016). According to the survey conducted in 2020, close to 70% of the American people work under stress. It is obvious that coronavirus disease has an impact on this high rate. Studies have shown that the immune systems of individuals living under stress in the United States are also weakened. Apart from this, stress is an effective factor in the emergence of various cancer diseases, depression, diabetes and cardiovascular patients (Li & Liu, 2020). When considered socially, the decrease in working efficiency due to stress also harms the country's economy. Various methods are used to control all these situations (Seo, Kim, Kim, Lee, & Park, 2019). Biomedical devices and systems have started to use artificial intelligence-based approaches in embedded systems today. These approaches, which have made a name for themselves in all fields, have also made a name in the field of health. Artificial intelligence approaches can include deep learning models, machine learning methods and techniques. Recently, artificial intelligence-based approaches have been preferred in measuring the stress levels of individuals. (Li & Liu, 2020) used the signal data from the chest and wrist in their study. They measured stress using single-layer and multi-layer deep learning models. (Bobade & Vani, 2020) used data obtained from various sensors (ECG, blood volume beat, body temperature, respiration, electromyogram) for stress measurement. While analyzing the data, they performed analyzes using machine learning methods (K-Nearest Neighbor, Linear Discriminant Analysis, Random Forest, Decision Tree) and feed forward neural network model. (H. Zhang, Feng, Li, Jin, & Cao, 2020) performed stress measurements of individuals using camera images without the need for any sensor. For this, they proposed a deep learning model that can detect physical movements and facial expressions in images. (Keshan, Parimi, & Bichindaritz, 2015) used ECG signal data from minimally invasive wearable patches. They performed the stress test using machine learning methods.

The aim of this study is to predict the stress category of individuals using ECG signal data. For this purpose, an artificial intelligence-based deep learning model has been designed in the proposed approach. The designed model aims to successfully classify the stress type into three categories. Brief information about other sections is given as follows; explanations about the dataset are given in Section 2. Information about the proposed approach is given in Section 3. Experimental analyzes are included in Section 4. Last section consists of the Discussion and Conclusion sections.

2. Dataset

The SWELL dataset contains multimodal open access information created for stress analysis and user modeling (Neerincx & Kraaij, y.y.). SWELL was collected by researchers at the Institute of Computer and Information Science at Radboud University. Data were obtained from 25 different people in the working environment where the analyzes were carried out. Using a 3D sensor, information such as ECG signals, body postures, facial expressions of the individuals were obtained. In addition, the data set includes the heart rate variability of individuals calculated every minute. The SWELL dataset consists of 36 feature sets. The dataset consists of three types of stress data. These; no stress, time pressure, interruption (Nkurikiyeyezu, Yokokubo, & Lopez, 2019; Qiriro, 2021). The percentage distributions of the three stress categories in the dataset are shown in Fig. 1. The dataset was originally divided into two parts as training and test. The original state of the dataset was also preserved in the experimental analysis of this study.

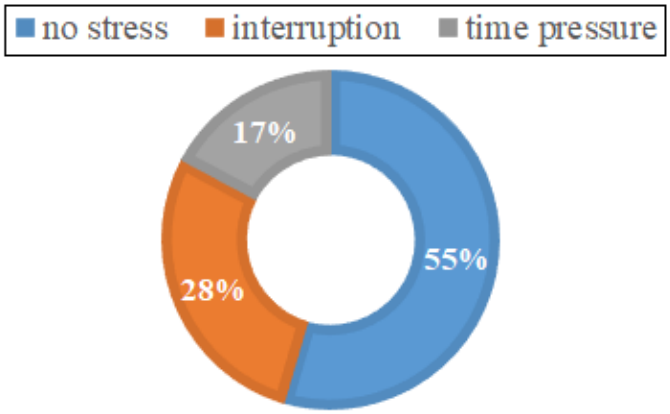


Figure 1. The distributions of the three condition in the SWELL dataset.

The proposed approach consists of 18 layers. The input value is the same as the parameter features in the dataset (35 features in total, excluding the label parameter). Output parameter is equivalent to the number of types. The dataset was used for this study in its original form (test data and train data separated).

3. Proposed Deep Learning Model

Deep learning models generally consist of the input layer, hidden layers and output layer. As an architectural structure, deep learning models generally consist of convolutional layers, pooling layers, fully connected layers / dense layers (Abd El Kader et al., 2021; Demir, 2021). The task of the convolutional layer is to create activation maps from numerical values by circulating filters (For example, 2×2, 3×3, 5×5 etc.) Activation maps are numerical information consisting of the attributes of the input images (Alzubaidi et al., 2021; Deng, Qiao, Dai, & Ma, 2021; W. Zhang, Yan, Shi, Feng, & Deng, 2017). Generally, pooling layers are used after convolutional layers. The task of the pooling layer is to reduce the size of the activation features at a certain level. The data with reduced dimensions facilitates the training of deep learning models and training periods are shortened. This situation contributes to the deep learning model. The maximum type is commonly used in pooling layers. The maximum pooling layer is processed using the highest value among the numerical information obtained with fixed resolution (2×2, 3×3 etc.) (Irmak, 2020; Koo & Eddy, 2019). The activation layer, which enables numerical values to be

processed in a fixed numerical range between layers (for example, conversion to 0 to 1 range) is batch normalization. Bath normalization ensures that oversized numerical values are normalized to prevent training of the model. Also, batch normalization prevents overfitting in deep learning models. Thus, a misleading result in the learning process of the training-test data of the deep learning model is prevented (Chen et al., 2021). Input values obtained from all layers of the deep learning model are collected in fully connected layers or dense layers. Fully connected layers' process these input values, leading to the generation of probabilistic values (Janke, Castelli, & Popovič, 2019; Sperl, Kao, Chen, Lei, & Böttinger, 2020). Softmax activation function is generally preferred in the classification process of models. It contributes to the classification process by processing the input values from the fully connected layer. Processing values across all layers may need to be performed in nonlinear operations (Horiguchi, Ikami, & Aizawa, 2020). The ReLU activation function, on the other hand, produces zero or positive values as the output value by processing nonlinear values. Here, negative values assign zero value and transfer positive input values to output as positive values again. Thus, the ReLU layer contributes to the training speed of the model (Alaeddine & Jihene, 2021; Y. Wang, Li, Song, & Rong, 2020).

The proposed model consists of open source codes compiled with Jupyter Notebook interface, designed by Python 3.6 software. This model used Keras, Tensorflow and Sklearn libraries (Kachuee, Fazeli, & Sarrafzadeh, 2018; Mine, 2021). The architecture of the proposed approach consists of convolutional layers that enable activation maps (Zhao et al., 2020) by filtering input size, and of pooling layers that reduce input size. Also, it consists of dense / fully connected (FC) layers that gather the activation features extracted from all layers in a single layer (contribute to the classification process). It was used in the Dropout and Batch Normalization to ensure normalization of input values in its architectural structure and to prevent overfitting (Maeda-Gutiérrez et al., 2020; Y.-D. Zhang, Satapathy, Liu, & Li, 2020). The ReLU function enables the generation of values in the range of $[0, +\infty)$ by activating the values between the layers (D. Wang, Zeng, & Lin, 2021). General layer information of the proposed approach is given in Table 1.

Table 1. General design of the proposed approach.

Layer		***Size / Value***	***Output Shape***	***Activation***
Input Number	**Process step**		(None, 35, 1)	
1	Convolution	(32, 3)	(None, 35, 32)	ReLU
2	Convolution	(32, 3)	(None, 35, 32)	ReLU
3	Pooling	(Max, 2)	(None, 17, 32)	ReLU
4	Convolution	(32, 3)	(None, 17, 32)	ReLU
5	Convolution	(32, 3)	(None, 17, 32)	ReLU
6	Pooling	(Max, 2)	(None, 8, 32)	ReLU
7	Convolution	(64, 3)	(None, 8, 64)	ReLU
8	Batch Normalization	-	(None, 8, 64)	-
9	Convolution	(64, 3)	(None, 8, 64)	ReLU
10	Batch Normalization	-	(None, 8, 64)	-

11	Convolution	(64, 3)	(None, 8, 64)	ReLU
12	Pooling	(Max, 2)	(None, 4, 64)	ReLU
13	Flatten	-	(None, 256)	ReLU
14	Dense	(FC, 128)	(None, 128)	ReLU
15	Dropout	0.6	(None, 128)	-
16	Dense	(FC, 128)	(None, 128)	ReLU
17	Dropout	0.5	(None, 128)	-
Output	Dense	(FC, 3)	(None, 3)	Softmax

4. Experimental Analysis

Experimental analyzes were carried out using the Google COLAB server. The hardware information allocated by the Google server is as follows; The processor was Intel (R) Xeon (R) and the processor speed was 2.20GHz. The memory was 12 GB and the video card was the Tensor Processing Unit (TPU) (Carneiro et al., 2018). Confusion matrix was preferred as the unit of measurement in the analysis of stress data. Confusion matrix metrics; sensitivity (Se), specificity (Sp), prediction (Pr), f-score (F-scr), and accuracy (Acc). The variables used in the calculation of metrics; true - positive (TP), true - negative (TN), false - positive (FP), and false - negative (FN) (Arı & Hanbay, 2018; Chicco & Jurman, 2020; Hasnain et al., 2020). (Equations 1-5) formulas are used in the calculation of metrics.

$$Se = \frac{TP}{TP+FN} \quad (1)$$

$$Sp = \frac{TN}{TN+FP} \quad (2)$$

$$Pre = \frac{TP}{TP+FP} \quad (3)$$

$$F\text{-}scr = \frac{2xTP}{2xTP+FP+FN} \quad (4)$$

$$Acc = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \quad (5)$$

The preferred optimization method for the model is Adaptive Moment Estimation (ADAM) (Halgamuge, Daminda, & Nirmalathas, 2020). The parameter values in this optimization method are; learning rate = 10-3, and decay rates $\beta 1 = 0.9$, $\beta 2 = 0.99$. The mini-batch value is directly related to the hardware unit used. It is the parameter that determines the amount of input that can be processed simultaneously to deep learning models with mini batch for each process moment. Therefore, video card memory, processor speed, memory size directly affects the mini batch parameter (Yang, Wang, Zhang, & Li, 2019). This value was selected as 1000 because the TPU (Demirbaş & Çınar, 2020) of the Google COLAB server is used. Epoch value of 64 was preferred. In the first step of the experimental analysis, the graph of the signal output was obtained using the ECG data. The ECG signal graph is shown in Fig. 2.

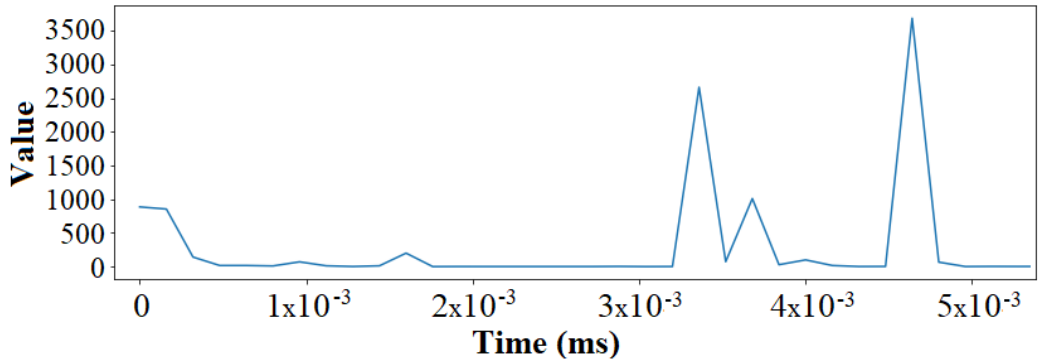


Figure 2. ECG signal pulse example obtained by using the parameters in the SWELL dataset.

In the second step of the experiment, all parameter values of the SWELL dataset were trained with the proposed deep learning model. The success and loss graphs of the training and test data are shown in Fig. 3. The confusion matrix obtained from the training carried out in the second step is shown in Fig. 4. The overall accuracy success obtained from the proposed model was 98.82%. Accuracy success according to data types (no stress, interruption, time pressure) respectively; it was 99.16%, 98.96% and 99.51%. Detailed analysis results of the study are given in Table 2. Additionally, the training time lasted 74 seconds per epoch, and the total elapsed time was approximately 4736 seconds.

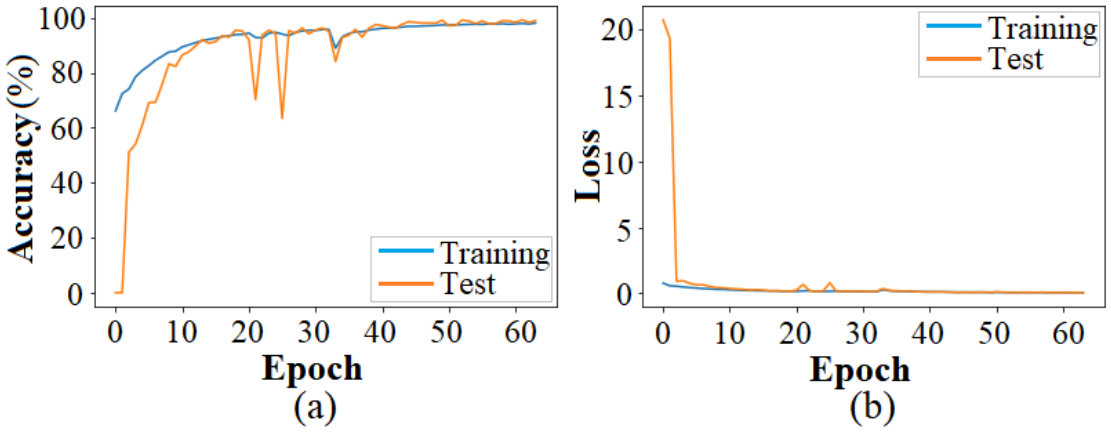


Figure 3. Training-test graphics of the proposed model; a) accuracy graph, b) loss graph.

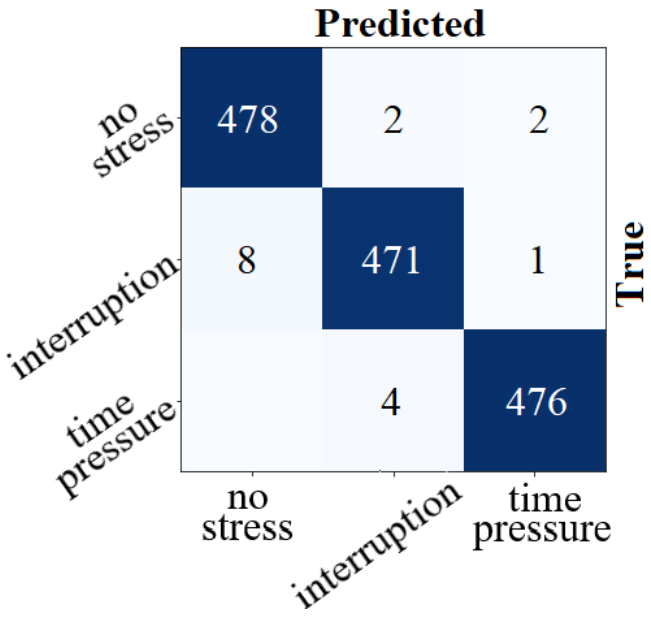


Figure 4. The confusion graph obtained from training the proposed model.

Table 2. Analysis results obtained from the confusion matrix of this study (%).

Model	Type	Se	Sp	Pre	F-scr	Acc	Overall Acc
Proposed Deep Model	No stress	99.17	99.16	98.35	98.76	99.16	98.82
	Interruption	98.13	99.38	98.74	98.43	98.96	
	Time pressure	99.17	99.68	99.37	99.27	99.51	

5. Discussion and Conclusion

Stress is one of the biggest diseases of the age. Recently, the worldwide impact of coronavirus disease has caused this disease to peak (Alshehri, Alatawi, Alghamdi, Alhifany, & Alharbi, 2020). Due to the pandemic process, people's closure to their homes, the difficulties they have in meeting their basic needs, and the negative effects of business life trigger stress (Xiong et al., 2020). In today's technologies, it is important to make a fast and correct decision for diagnostic systems. In order to prevent a disease that increases rapidly in societies, it is necessary to respond quickly. These are technologies that can perform the speed and skills of people collectively in artificial intelligence-based systems faster and more stable. In this study, signal data obtained from individuals were used and analyzes were carried out by designing an artificial intelligence-based deep learning model. The designed deep learning model was implemented by open source codes. One of the most important contributions of this study was TPU, which uses the processor type using the capabilities of the Google Colab server. It has increased the speed of the deep learning model designed with TPU. Another advantage was that the designed model was created with open source codes. Thus, the success of the model was increased by intervening with the layers and parameters of the model in a contrary situation.

Stress is one of the most popular ailments today. This disease, which affects people's morale motivation negatively, must be detected successfully using technological models. In this study, analyzes were carried out using the SWELL dataset, which includes ECG signal data. The proposed model was designed using libraries used from deep learning approaches, a sub-branch of artificial intelligence. The processing of experimental analysis by TPU has accelerated the training time more than the CPU and GPU. Approximate training time took 1 hour 19 minutes. The overall accuracy success achieved with the proposed approach was 98.82%. In the analysis of our study, stress data consisted of three types of classes and the general accuracy success obtained from these data types are as follows; no stress was 99.16%, interruption was 98.96%, time pressure was 99.5%. This result showed that the stress data of the designed open source deep learning model was successfully determined.

In our future study, sensorless data (by extracting the facial expressions and physical movements of individuals in the video) will be analyzed with deep learning models and artificial intelligence approaches.

Role of funding sources

There is no funding source for this paper.

Ethical approval

This study does not contain any data, or other information from studies or experimentation, with the involvement of human or animal subjects.

Conflicts of interest

The author declares that there is no conflict to interest related to this paper.

References

Abd El Kader, I., Xu, G., Shuai, Z., Saminu, S., Javaid, I., & Salim Ahmad, I. (2021). Differential Deep Convolutional Neural Network Model for Brain Tumor Classification. *Brain Sciences*, 11(3), 352. https://doi.org/10.3390/brainsci11030352

Alaeddine, H., & Jihene, M. (2021). Deep network in network. *Neural Computing and Applications*, 33(5), 1453–1465. https://doi.org/10.1007/s00521-020-05008-0

Alshehri, F. S., Alatawi, Y., Alghamdi, B. S., Alhifany, A. A., & Alharbi, A. (2020). Prevalence of post-traumatic stress disorder during the COVID-19 pandemic in Saudi Arabia. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 28(12), 1666–1673. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsps.2020.10.013

Alzubaidi, L., Zhang, J., Humaidi, A. J., Al-Dujaili, A., Duan, Y., Al-Shamma, O., … Farhan, L. (2021). Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of Big Data*, 8(1), 53. https://doi.org/10.1186/s40537-021-00444-8

Arı, A., & Hanbay, D. (2018). Deep learning based brain tumor classification and detection system. *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, 26(5), 2275–2286. https://doi.org/10.3906/elk-1801-8

Bhui, K., Dinos, S., Galant-Miecznikowska, M., de Jongh, B., & Stansfeld, S. (2016). Perceptions of work stress causes and effective interventions in employees working in public, private and non-governmental organisations: a qualitative study. *BJPsych Bulletin*, 40(6), 318–325. https://doi.org/10.1192/pb.bp.115.050823

Bobade, P., & Vani, M. (2020). Stress Detection with Machine Learning and Deep Learning using Multimodal Physiological Data. Içinde *2020 Second International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA)* (ss. 51–57). https://doi.org/10.1109/ICIRCA48905.2020.9183244

Carneiro, T., NóBrega, R. V. M. Da, Nepomuceno, T., Bian, G., Albuquerque, V. H. C. De, & Filho, P. P. R. (2018). Performance Analysis of Google Colaboratory as a Tool for Accelerating Deep Learning Applications. *IEEE Access*, 6, 61677–61685. https://doi.org/10.1109/access.2018.2874767

Chen, Z., Deng, L., Li, G., Sun, J., Hu, X., Liang, L., … Xie, Y. (2021). Effective and Efficient Batch Normalization Using a Few Uncorrelated Data for Statistics Estimation. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(1), 348–362. https://doi.org/10.1109/TNNLS.2020.2978753

Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*, 21(1), 6. https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7

Demir, F. (2021). DeepCoroNet: A deep LSTM approach for automated detection of COVID-19 cases from chest X-ray images. *Applied Soft Computing*, 103, 107160. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2021.107160

Demirbaş, A. A., & Çınar, A. (2020). Nesne Sınıflandırma İşlemi İçin Tensor İşleme Birimi and CPU Performans Karşılaştırması Comparing Tensor Processing Unit and CPU Performance for Image Classification. *Journal of Computer Science and Technologies*, 1(1), 10–15. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1079128

Deng, H., Qiao, H., Dai, Q., & Ma, C. (2021). Deep learning in photoacoustic imaging: a review. *Journal of Biomedical Optics*, 26(04). https://doi.org/10.1117/1.jbo.26.4.040901

Halgamuge, M. N., Daminda, E., & Nirmalathas, A. (2020). Best optimizer selection for predicting bushfire occurrences using deep learning. *Natural Hazards*, 103(1), 845–860. https://doi.org/10.1007/s11069-020-04015-7

Hasnain, M., Pasha, M. F., Ghani, I., Imran, M., Alzahrani, M. Y., & Budiarto, R. (2020). Evaluating Trust Prediction and Confusion Matrix Measures for Web Services Ranking. *IEEE Access*, 8, 90847–90861. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2994222

Horiguchi, S., Ikami, D., & Aizawa, K. (2020). Significance of Softmax-Based Features in Comparison to Distance Metric Learning-Based Features. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 42(5), 1279–1285. https://doi.org/10.1109/tpami.2019.2911075

Irmak, E. (2020). Implementation of convolutional neural network approach for COVID-19 disease detection. *Physiological Genomics*, 52(12), 590–601. https://doi.org/10.1152/physiolgenomics.00084.2020

Janke, J., Castelli, M., & Popovič, A. (2019). Analysis of the proficiency of fully connected neural networks in the process of classifying digital images. Benchmark of different classification algorithms on high-level image features from convolutional layers. *Expert Systems with Applications*, 135, 12–38. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.05.058

Kachuee, M., Fazeli, S., & Sarrafzadeh, M. (2018). ECG heartbeat classification: A deep transferable representation. *Proceedings - 2018 IEEE International Conference on Healthcare Informatics, ICHI 2018*, 443–444. https://doi.org/10.1109/ICHI.2018.00092

Keshan, N., Parimi, P. V, & Bichindaritz, I. (2015). Machine learning for stress detection from ECG signals in automobile drivers. Içinde *2015 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)* (ss. 2661–2669). https://doi.org/10.1109/BigData.2015.7364066

Koo, P. K., & Eddy, S. R. (2019). Representation learning of genomic sequence motifs with convolutional neural networks. *PLOS Computational Biology*, 15(12), e1007560. https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1007560

Li, R., & Liu, Z. (2020). Stress detection using deep neural networks. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(11), 285. https://doi.org/10.1186/s12911-020-01299-4

Maeda-Gutiérrez, V., Galván-Tejada, C. E., Zanella-Calzada, L. A., Celaya-Padilla, J. M., Galván-Tejada, J. I., Gamboa-Rosales, H., … Olvera-Olvera, C. A. (2020). Comparison of Convolutional Neural Network Architectures for Classification of Tomato Plant Diseases. *Applied Sciences* . https://doi.org/10.3390/app10041245

Mine, N. (2021, April 27). ECG Heartbeat Categorization, https://www.kaggle.com/coni57/model-from-arxiv-1805-00794

Neerincx, M. A., & Kraaij, W. (y.y.). The SWELL Knowledge Work Dataset for Stress and User Modeling Research Categories and Subject Descriptors.

Nkurikiyeyezu, K., Yokokubo, A., & Lopez, G. (2019). The effect of person-specific biometrics in improving generic stress predictive models. *arXiv*, 1–12. https://doi.org/10.18494/sam.2020.2650

Oktosatrio, S. (2018). Investigating the Relationship between Work-Life-Balance and Motivation of the Employees: Evidences from the Local Government of Jakarta. *Munich Personal RePEc Archive*, (85084). https://mpra.ub.uni-muenchen.de/85084/

Qiriro. (2021, May 7). SWELL dataset, https://www.kaggle.com/qiriro/swell-heart-rate-variability-hrv

Rosiek, A., Rosiek-Kryszewska, A., Leksowski, Ł., & Leksowski, K. (2016). Chronic Stress and Suicidal Thinking Among Medical Students. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(2), 212. https://doi.org/10.3390/ijerph13020212

Seo, W., Kim, N., Kim, S., Lee, C., & Park, S.-M. (2019). Deep ECG-Respiration Network (DeepER Net) for Recognizing Mental Stress. *Sensors* . https://doi.org/10.3390/s19133021

Sperl, P., Kao, C.-Y., Chen, P., Lei, X., & Böttinger, K. (2020). DLA: Dense-Layer-Analysis for Adversarial Example Detection. Içinde *2020 IEEE European Symposium on Security and Privacy (EuroS&P)* (ss. 198–215). https://doi.org/10.1109/EuroSP48549.2020.00021

Wang, D., Zeng, J., & Lin, S.-B. (2021). Random Sketching for Neural Networks With ReLU. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 32(2), 748–762. https://doi.org/10.1109/tnnls.2020.2979228

Wang, Y., Li, Y., Song, Y., & Rong, X. (2020). The influence of the activation function in a convolution neural network model of facial expression recognition. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(5). https://doi.org/10.3390/app10051897

Xiong, J., Lipsitz, O., Nasri, F., Lui, L. M. W., Gill, H., Phan, L., … McIntyre, R. S. (2020). Impact of COVID-19 pandemic on mental health in the general population: A systematic review. *Journal of Affective Disorders*, 277, 55–64. https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.08.001

Yang, Z., Wang, C., Zhang, Z., & Li, J. (2019). Mini-batch algorithms with online step size. *Knowledge-Based Systems*, 165, 228–240. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.11.031

Zhang, H., Feng, L., Li, N., Jin, Z., & Cao, L. (2020). Video-Based Stress Detection through Deep Learning. *Sensors* . https://doi.org/10.3390/s20195552

Zhang, W., Yan, J., Shi, W., Feng, T., & Deng, D. (2017). Refining deep convolutional features for improving fine-grained image recognition. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2017(1), 27. https://doi.org/10.1186/s13640-017-0176-3

Zhang, Y.-D., Satapathy, S. C., Liu, S., & Li, G.-R. (2020). A five-layer deep convolutional neural network with stochastic pooling for chest CT-based COVID-19 diagnosis. *Machine Vision and Applications*, 32(1), 14. https://doi.org/10.1007/s00138-020-01128-8

Zhao, B., Hua, X., Yu, K., Tao, W., He, X., Feng, S., & Tian, P. (2020). Evaluation of Convolution Operation Based on the Interpretation of Deep Learning on 3-D Point Cloud. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13, 5088–5101. https://doi.org/10.1109/jstars.2020.3020321

Yazılım Geliştirme Sürecinde Kural Esaslı Riskler

Mustafa BATAR*[1,a], Kökten Ulaş BİRANT[2,b], Ali Hakan IŞIK[3,c]
[1]*Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, 35390, İzmir*
[2]*Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 35390, İzmir*
[3]*Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 15030, Burdur*

Öz

Ortaya konulan bu çalışmada; ilk olarak, orijinal ve özgün bir yazılım risk parametreleri seti hazırlamak için 1975 ile 2020 yılları arasını kapsayan bir alanyazın taraması yapılmıştır. Bu inceleme işlemi, genelden özele doğru aşamalı olarak üç ana başlık altında ele alınmıştır: proje riskleri, yazılım projesi riskleri ve yazılım geliştiricilerin çalışma performanslarına dayalı yazılım projesi riskleri. Bu kapsamda, proje riskleri için, 1978 ile 2017 yılları arasında yayımlanan 50 bilimsel indeksli makale analiz edilmiştir; yazılım projesi riskleri için, 1998 ile 2017 yılları arasında yayımlanan 21 bilimsel indeksli makale incelenmiştir; geliştiricilerin çalışma performanslarına dayalı yazılım projesi riskleri için ise, 2001 ile 2017 yılları arasında yayımlanan 17 bilimsel indeksli makale üzerine çalışılmıştır. Bu tarama ve inceleme işlemleri sonucunda, yazılım risk parametreleri seti oluşturmaya yönelik, esas olarak 13 makale dikkati çekmiştir. Bununla birlikte, bu çalışma için ikinci olarak, – bu 13 makale neticesinde – yazılım geliştirme sürecinde ortaya çıkabilecek yazılım risk parametreleri ele alınarak bir kural seti tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu bağlamda, yazılım geliştirmede önem teşkil edecek kural esaslı riskler tanıtılmıştır. Bu tanıtım ile birlikte, kural tabanlı bu yöntem ve tekniğin yazılım risk değerlendirme ve yönetiminde kullanılabilirliği ve etkinliği çeşitli örneklerle gösterilmiş ve ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Eldeki verilerin ışığında, yazılım risk değerlendirme ve yönetimi alanına "Kural Esaslı Riskler" ve "Kural Tabanlı Yöntem ve Teknik" terimleri kazandırılarak "Yazılım Mühendisliği" bilim dalına etki etmesi amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Yazılım Mühendisliği, Yazılım Geliştirme Süreci, Yazılım Risk Değerlendirme ve Yönetimi, Yazılım Riskleri, Kural Esaslı Riskler, Kural Tabanlı Yöntem ve Teknik

Rule-Based Risks in the Software Development Process

Abstract

In this study, firstly, a literature review covering the years between 1975 and 2020 has been conducted to prepare an original and unique set of software risk parameters. This review process has been discussed in stages from general to specific under three main headings: project risks, software project risks, and software project risks based on software developers' performance. In this context, 50 scientific indexed articles published between 1978 and 2017 have been analysed for project risks; 21 scientifically indexed articles published between 1998 and 2017 have been reviewed for software project risks; and for the software project risks based on the software developers' performance, 17 scientific indexed articles published between 2001 and 2017 have been studied on. As a result of these reviewing and analysis processes, mainly 13 articles aimed at creating a software risk parameter set have attracted attention. In addition, for this study, as a result of these 13 articles, a rule set has been designed and developed by considering the software risk parameters that may arise during the software development process. In this context, rule-based risks that will be important in the software development have been introduced. With this introduction, the usability and effectiveness of this rule-based method and technique in software risk assessment and management have been demonstrated with various examples and explained in detail. In the light of the available data on hand, it is aimed to influence the field of "Software Engineering" by gaining the terms "Rule-Based Risks" and "Rule-Based Method and Technique" in the field of software risk assessment and management.

Keywords: Software Engineering, Software Development Process, Software Risk Assessment and Management, Software Risks, Rule-Based Risks, Rule-Based Method and Technique

1. Giriş

Yazılım geliştirme projelerinde, oldukça büyük bir bütçe ve finansal planlamaya ihtiyaç duyulmaktadır ve geliştirmeye devam edilebilmesi için çok büyük yatırımlar gerekmektedir (Birant vd., 2019). Yazılım geliştirmeyle ilgili uluslararası hacimde önemli bilgilere bağlı maliyetlere bakıldığı zaman; 1985 yılında 150 milyar dolar, 2010 yılında 2 trilyon dolar, 2015 yılında 5 trilyon dolar ve 2020 yılında ise 7 trilyon doların üzerindedir. Ayrıca, 2021 yılının ilk yeni günlerinde, Apple Store'un sadece bir günlük cirosu yaklaşık 500 milyon dolar civarındadır ve her geçen gün katlanarak bu meblağ artmaktadır. Bununla birlikte, her geçen yıl önemli ölçüde genişleyen ve artan harcamalara ve yatırımlara rağmen, yazılım geliştirme projelerinin başarısı hiç de yüksek değildir. 2015 yılında düzenlenen "CHAOS" raporuna göre, yazılım projelerinin sadece %17'si tahsis edilen finansal planda ve ihtiyaçlar doğrultusunda başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Fakat yazılım projelerinin %53'ü ise, istenilen süreyi aşarak veya potansiyel olarak harcama planının üzerine çıkarak veya ön koşulları tam olarak karşılayamadan eksik bir şekilde tamamlanmıştır. Bununla birlikte, %30 oranında yazılım geliştirme projeleri tamamlanamayıp yarıda bırakılmıştır. 2020 yılında yayınlanan "CHAOS" raporunda ise, tüm dünyadaki yazılım projelerinin sadece %33'ünün başarıyla tamamlanabildiği kayıtlara geçmiştir. Bu kapsamda, bu denli başarısız sonuçlarla baş edebilmek, üstesinden gelebilmek ve yazılım geliştirme sürecinde başarı oranını artırabilmek için, yazılım risklerinin ortaya çıkarılmasını sağlayan etkin bir yöntemin kullanılması ve uygulanması gerekmektedir. Bu yöntem doğrultusunda, yazılım geliştirme projelerinin başarılı bir şekilde tamamlanmasını engelleme gücüne sahip yazılım riskleri bir sorun yaratmadan önce, zamanında fark edilip ayırt edilebilecektir (Batar vd., 2021).

2. Risk

Risk, hedeflenen bir sonuca ulaşamama olasılığıdır. Ayrıca, bir organizasyonun ya da bir firmanın veyahut bir kişinin stratejik, finansal ve operasyonel hedeflerine ulaşmasını engelleyecek olay ya da olayların ortaya çıkma durumudur. Riskin temel olarak iki ana faktörü vardır: Gerçekleşme olasılığı; belirli bir sonuca ulaşamama olasılığı veya istenmeyen bir durumun meydana gelme olasılığıdır. Zararın boyutu, risklerin gerçekleşmesi durumunda ortaya çıkabilecek sonuçların etkileridir (Smith, 1989).

Mevcut alan-yazında üç ana risk kategorisi göze çarpmaktadır (Renn, 2004). İlk olarak, şirketle ilgili iç riskler ortaya çıkmaktadır: Üretim yönetiminin etkinliğine bağlı riskler, finansal yönetim faaliyetine ilişkin riskler, pazarlama yönetiminin etkinliğine bağlı riskler, şirket içi lojistik ile ilgili riskler, kalite yönetiminin etkinliği ile ilgili riskler, insan kaynakları yönetimine dayalı riskler, yönetimle ilgili genel riskler, vb. risklerdir. İkinci olarak, tedarik zinciri ağı ile ilgili riskler ortaya çıkmaktadır: Tedarikçilerin üretim girdisini istenilen miktarda tedarik edememe riski, tedarikçilere zamanında teslim edememe riski, tedarikçilerin istenilen kalite standartlarına ulaşamama riski, tedarikçi ve dağıtım şirketlerinin riskleri, şirket için kritik reçeteye sahip tedarikçiler ve dağıtım şirketleri ile stratejik olmayan işbirliği riski, ürünlerde hasar riski, dağıtım sırasında ürün kalitesinin düşmesi riski, stratejik öncelikleri başta olmak üzere tedarikçiler ve dağıtım şirketleri ile etkin bir bilgi ağının kurulamamasından kaynaklanan riskler, vb. risklerdir. Son olarak, dış riskler ortaya çıkmaktadır: Ekonomik belirsizliklerden kaynaklanan riskler, siyasi istikrarsızlık, teknolojik gelişmelerden kaynaklanan riskler, değişen yasal koşulların riskleri, sosyo-ekonomik durumdaki değişikliklerin yarattığı riskler, artan ve değişen rekabet koşullarının yarattığı riskler, müşteri beklentilerindeki büyük değişiklik, doğal afet riski, terör riski, vb. risklerdir.

Riskler insan hayatında tüm boyut ve şekillerde ortaya çıkabilmektedir. İşin uzmanları genel olarak ve çoğunlukla üç önemli noktayı ele almaktadırlar (Lezzoni, 1997): İlk olarak ele alınan piyasa riski; maliyetlerin bir organizasyonun ters sonuçlarına sahip olacak şekilde hareket etmesi tehlikesidir. İkinci olarak ele alınan kredi riski; bir müşterinin, karşı tarafın veya bir sağlayıcının taahhütlerini yerine getirmeyi ihmal etmesi tehlikesidir. Üçüncü olarak ele alınan operasyonel risk; bireylerin, döngülerin

veya çerçevelerin yetersiz kalması ya da dış bir durumun (sismik titreme, yangın, vb. durumlar) organizasyonu tersine – negatif yönde – etkilemesi tehlikesidir.

3. Öne Çıkan Yazılım Riskleri

Yazılım geliştirme ve bu gelişimi sürdürme oldukça emek isteyen ve içerisinde risk barındıran tehlikeli bir iştir. Yazılım geliştirme süreci gereksinimlerin belirlenmesinden bakım, onarım ve güncelleştirmeye kadar devam etmektedir. Bununla birlikte, işin özünü oluşturan tasarım ve gerçekleştirme aşamalarıdır. Buna bağlı olarak, ek maliyetler, süreç bakımından gecikmeler veya çıktıları karşılamadaki yetersizlik somut sonuçlar doğurabilmekte ve başarısızlıklar ortaya çıkabilmektedir (Dey vd., 2007). Yazılım geliştirme sürecinde sıkıntılara yol açabilecek, süreci baltalayabilecek ve başarısızlığa neden olabilecek öne çıkan yazılım riskleri aşağıda listelenmiştir (Hall, 1998):

Plan/Program ile ilgili Riskler:
Programla ilgili riskler, zamanla ilgili riskleri veya proje teslimiyle ilgili planlama risklerini ifade etmektedir. Yanlış programlama, proje geliştirmeyi ve proje teslimatını etkilemektedir. Bu riskler esas olarak hedeflenen planın gerisinde kalmaya işaret etmekle birlikte, proje geliştirme zamanında ilerleyememekte ve projenin tesliminde sıkıntılar ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, program riskleri düzgün yönetilemezse, proje başarısız olmakta ve yazılım şirketin ekonomisini negatif yönde etkilemektedir.

Planlama risklerine sebep olabilecek faktörler:
Zamanlamanın tam olarak yapılamaması
Yanlış kaynak tahsisi
Sistem, beceri, personel vb. kaynakların takibindeki sıkıntılar
Proje kapsamının sık sık genişletilmesi
İşlev tanımlamadaki başarısızlık

Bütçe Riskleri:
Bütçeyle ilgili riskler, temelde bütçe aşımlarından kaynaklanan parasal riskleri ifade etmektedir. Projenin mali yönü her zaman kararlaştırılan şekilde yönetilmelidir, ancak projenin mali yönü yanlış yönetilirse, bütçe risklerine yol açarak bütçe endişeleri ortaya çıkmaktadır. Bu kapsamda, projenin başarısı için uygun finansman dağıtımı ve yönetimi gereklidir, aksi takdirde proje başarısızlığına yol açabilmektedir.

Bütçe risklerine sebep olabilecek faktörler:
Yanlış bütçe tahmini
Proje kapsamının beklenmedik bir şekilde genişletilmesi
Bütçe işlemedeki yanlış yönetim
Maliyet aşımları
Bütçenin yanlış takibi

Operasyonel Riskler:
Operasyonel risk, prosedürel riskleri ifade etmektedir. Yanlış süreç ve gelişim uygulaması veya bazı harici operasyonel riskler nedeniyle proje geliştirme sırasında günlük operasyonel faaliyetlerde meydana gelen risklerdir.

Operasyonel risklere sebep olabilecek faktörler:
Eksik/Yetersiz kaynak
Çalışanlar ve görevleri arasındaki çatışma
Görevlerin yanlış yönetimi
Proje hakkında düzgün planlamanın olmaması
Projede çalışan yetenekli insan sayısının az olması
İletişim ve işbirliği eksikliği
Rollerde ve sorumluluklardaki belirsizlik

Yetersiz eğitim ve oryantasyon

Teknik Riskler:
Teknik riskler, işlevsel risklere veya performans risklerine atıfta bulunmaktadır. Teknik risk esas olarak ürünün işlevselliği veya yazılım ürününün performans bölümü ile ilişkilidir.

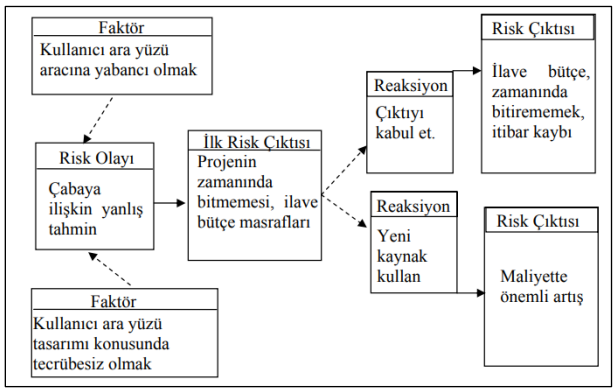
Teknik risklere sebep olabilecek faktörler:
İhtiyaç ve gereksinimlerdeki değişiklikler
Geleceğin (yeni) teknolojilerinin daha az kullanımı
Kalifiye çalışan sayısının az olması
Uygulamadaki karmaşıklıklar
Modüllerin yanlış entegrasyonu
Programatik Riskler:
Programatik riskler, dış riskleri veya diğer kaçınılmaz riskleri ifade etmektedir. Bu tür riskler, doğası gereği kaçınılmaz olan dış risklerdir, dışarıdan gelir ve programların kontrolü dışında gelişmektedir.

Programatik risklere sebep olabilecek faktörler:
Pazarın hızlı gelişimi/değişimi
Yetersiz proje fonu
Hükümet politikasındaki değişiklikler
Herhangi bir nedenle sözleşmenin kaybı/feshedilmesi

4. Yazılım Risk Değerlendirmesi

Yazılım risk değerlendirmesi, aşağıda listelenen durumlarda genel süreci veya yöntemi tanımlamak için kullanılan bir terimdir (Kumar ve Yadav, 2015):
Yazılım geliştirme sürecinde zarar verme potansiyeline sahip tehlikeleri ve risk faktörlerini belirleme (tehlikeyi tanımlama).
Bu tehlikeyle ilişkili riski analiz etme ve değerlendirme (risk analizi ve risk değerlendirmesi).
Tehlikeyi ortadan kaldırmak için uygun yolları belirleme veya tehlike ortadan kaldırılamadığında riski kontrol etme (risk kontrolü).

Yazılım risk değerlendirmesi, özellikle insanlara zarar verebilecek olayları, durumları, süreçleri vb. belirleyebilmek için yazılım geliştirme sürecine kapsamlı bir bakıştır (Liu ve Horowitz, 1989). Tanımlama yapıldıktan sonra, riskin ne kadar olası ve ciddi olduğu analiz edip değerlendirilmektedir. Bu belirleme ve değerlendirme yapıldığında, zararın meydana gelmesinin etkin bir şekilde ortadan kaldırılması veya kontrol edilmesi için hangi önlemlerin alınması gerektiğine karar verilmektedir. Yazılım risk değerlendirmesi ile ilgili süreç aşağıdaki Şekil 1'de gösterilmeye çalışılmıştır.



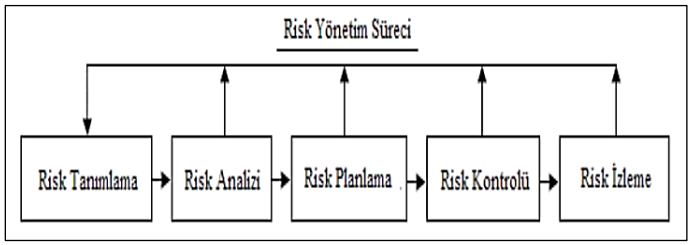
Şekil 1. Risk değerlendirme süreci (Gülebağlan, 2006)

5. Yazılım Risk Yönetimi

Yazılım risk yönetimi, yazılım riskinin yönetilmesi gereken bir sorun olduğu düşüncesiyle başlamaktadır (Lyytinen vd., 1996). Temelde yazılım riski, yazılımın kendi içindeki sorunlardan ortaya çıkmaktadır. Yazılım risk yönetimi genel olarak iki yazılım türü sorununu ele almaktadır: Yazılım hatası ve performans eksikliği, Proje ve program yönetimi ve teslimi.

Yazılım risk yönetimi proaktif bir yaklaşımı benimsemektedir (Fairley, 1994). Yazılım riski, bir yazılım kusurunun yazılımın son kullanıcılar ve işletme için kullanılabilirliğini etkilediği alanları aramak, bulmak ve belirlemek için -aslında- bir yaklaşım ya da bir yöntem sağlamaktadır. Örneğin; yazılımın düzgün çalışmasına izin vermeyen veya hiçbir şekilde çalıştırmayan yazılım hatasından kaynaklanan yıkıcı bir arıza, yönetilmesi gereken bir tür yazılım riskidir. Yazılım risk yönetimi ile ilgili sürecin adım ve aşamaları aşağıdaki Şekil 2'de gösterilmeye çalışılmıştır.

Yazılım risk yönetiminin genel kuralları ve prensipleri (Stellman ve Greene, 2005):
Uygulamalar ve sistemlerdeki en riskli alanları ve bileşenleri belirleme,
Sistem arızalarına neden olan kusurların temel nedenini belirleme,
Risk tabanlı teste ek olarak işlem ve nesne riskini ölçme,
Kapsamı genişletme ve test verimliliğini sağlama,
Risk tabanlı testler için yapısal kalite analizinden yararlanma,
Temel sistem bileşenlerinin karmaşıklığını anlama,
Karmaşık sistem bileşenlerinin değişme derecesini belirleme,
En kritik uygulamalar için yazılımın her sürümünde yazılım risk düzeylerini ölçmek ve izlemek için bir puan kartı veya kontrol paneli oluşturma şeklinde sıralanabilir.



Şekil 2. Risk yönetim süreci (Calp ve Akcayol, 2015)

6. Alanyazın Taraması

Yazılım risk parametrelerinin oluşturulabilmesi için yapılan alanyazın taraması sonucu ortaya çıkan 13 etkin makale aşağıda Tablo 1'de listelenmiştir.

Tablo 1. Araştırma kapsamında öncü olan 13 makale

No	Basım Yılı	Basım Yeri	İlgili Makale
1	1998	ACM	Keil, M., Cule, P. E., Lyytinen, K., & Schmidt, R. C. *A framework for identifying software project risks.*
2	2004	ACM	Wallace, L., & Keil, M. *Software project risks and their effect on outcomes.*
3	2007	Emerald Insight	Dey, P. K., Kinch, J., & Ogunlana, S. O. *Managing risk in software development projects: A case study.*
4	2009	ACM	Warkentin, M., Moore, R. S., Bekkering, E., & Johnston, A. C. *Analysis of systems development project risks: An integrative framework.*
5	2009	IEEE	Xiaosong, L., Shushi, L., Wengun, C., & Songjiang, F. *The application of risk matrix to software project risk management.*
6	2009	IEEE	Feng, N., Li, M., & Gao, H. *A software project risk analysis model based on evidential reasoning approach.*

7	2009	IEEE	Khan, S. *An approach to facilitate software risk identification.*
8	2010	IEEE	Lamersdorf, A., Munch, J., Torre, A. F., Sánchez, C. R., Heinz, M., & Rombach, D. *A rule-based model for customized risk identification in distributed software development projects.*
9	2011	ACM	Becker, J., & Dai, R. W. *Understanding IT project risks as disturbances to digital ecosystems.*
10	2012	IEEE	Hoermann, S., Aust, M., Schermann, M., & Krcmar, H. *Comparing risks in individual software development and standard software implementation projects: A delphi study.*
11	2013	IEEE	Fakhar, M. Z., Abbas, M., & Waris, M. *Risk management system for ERP software project.*
12	2014	IEEE	Sonchan, P., & Ramingwong, S. *Top twenty risks in software projects: A content analysis and delphi study.*
13	2017	ACM	Min, W., Jun, Z., & Wei, Z. *The application of fuzzy comprehensive evaluation method in the software project risk assessment.*

Yukarıdaki Tablo 1'de listelenen 13 makaleye bağlı olarak, toplamda 50 farklı parametre içeren 6 ana başlık altında bir yazılım risk parametre seti oluşturulmuştur: Organizasyon Ortamı (4 parametre), Kullanıcılar (5 parametre), Gereksinimler (12 parametre), Proje Karmaşıklığı (9 parametre), Takım (6 parametre), Planlama ve Kontrol (14 parametre). Bu ana başlıklar ve parametreler aşağıdaki Tablo'2 de listelenmiştir.

Tablo 2. Araştırma sonucu oluşturulan özgün yazılım risk parametreleri

Ana Başlıklar	**Yazılım Risk Parametreleri**
Organizasyon Ortamı	Proje sırasında organizasyonel yönetimde değişiklik
	Projeyi olumsuz yönde etkileyen kurumsal siyaset
	Kararsız kuruluş ortamı
	Proje süresince yeniden yapılanmaya giden organizasyon
Kullanıcılar	Yeterli kullanıcı katılımının olmaması
	Tüm paydaşların belirlenememesi
	Kullanıcılardan işbirliği eksikliği
	Kullanıcı temsilcisinin uygun deneyime sahip olmaması
	Kullanıcı direnci
Gereksinimler	Sistem gereksinimleri eksikliği
	Sistem gereksinimlerinin yeterince tanımlanmaması
	Belirsiz veya yanlış anlaşılan sistem gereksinimleri
	Sistem için yeni ve/veya bilinmeyen konuların varlığı
	Gereksinim değişikliği için analiz eksikliği
	Gereksinim hacminin değişmesi
	Gereksinim dokümanının eksikliği
	Gereksinimlerin iyi tanımlanmaması
	Belirsizlik ve/veya gereksinimlerde olan değişiklik
	Belirsiz müşteri gereksinimleri
	Gereksinimlerin kayması/değişmesi
	Kullanıcı gereksinimlerinin karşılanmaması
Proje Karmaşıklığı	Projenin henüz yeni olan teknoloji kullanımını içermesi
	Yüksek düzeyde teknik karmaşıklık
	Olgunlaşmamış teknoloji
	Projenin daha önce hiç kullanılmayan bir teknolojiyi içermesi

	Düşük yazılım performansı
	Yeni teknolojilerle ilgili sorunlar
	Yetersiz altyapı
	Kaynak yetersizliği
	Yetersiz iç/dış tasarım
Ekip/Takım	Deneyim sahibi olmayan ekip/takım üyeleri
	Yetersiz bir şekilde eğitilmiş geliştirme ekibi/takımı üyeleri
	Ekip/takım üyelerinin projenin gerektirdiği özel becerilerden yoksun olması
	Verimsiz ekip/takım yeteneği/gücü
	Ekip/takım üyeleri arasındaki çatışmalar
	Çalışanların değişmesi/yenilenmesi/devir daimi
Planlama ve Kontrol	Etkin bir proje yönetimi metodolojisinin olmaması
	Projenin ilerlemesi ve işleyişinin yeterince yakından takip edilememesi
	Değişiklileri düzgün yönetememe
	Yetersiz proje planlaması
	Projede yapılacakların açık bir şekilde tanımlanamaması
	Etkin proje yönetimi becerilerinin eksikliği
	Etkisiz iletişim
	Danışmanlar, satıcılar ve alt yükleniciler üzerindeki kontrol eksikliği
	Uygunsuz geliştirme süreci
	Gerçekçi olmayan program
	İyimser kaynak planlaması
	Yönetici katılımının eksikliği
	Gerçekçi olmayan bütçeleme
	Hukuki yaptırım (sözleşme) eksikliği

7. Kural Esaslı Riskler

Tablo 2'de listelenen yazılım parametrelerine bağlı olarak, toplamda 15 farklı parametre ile birlikte 18 farklı özgün kural esaslı riskler oluşturulmuştur. Yazılım geliştirme sürecine etki eden bu riskler aşağıda listelenmiştir:

Kural 1: Eğer "yazılım geliştirme sürecinde uygun olmayan geliştirme yöntemi kullanımı" orta düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde etkin olmayan iletişim ağı" orta düzeyde ve "yazılım projesi ile ilgili açık/net olmayan ya da yanlış anlaşılan gereksinimlerin seviyesi" yüksek düzeyde ise, o halde Yazılım Riski yüksek düzeydedir.

Kural 2: Eğer "yazılım geliştirme sürecinde uygun olmayan geliştirme yöntemi kullanımı" düşük düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde etkin olmayan iletişim ağı" orta düzeyde ve "yazılım projesi ile ilgili açık/net olmayan ya da yanlış anlaşılan gereksinimlerin seviyesi" orta düzeyde ise, o halde Yazılım Riski orta düzeydedir.

Kural 3: Eğer "yazılım geliştirme sürecinde uygun olmayan geliştirme yöntemi kullanımı" düşük düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde etkin olmayan iletişim ağı" düşük düzeyde ve "yazılım projesi ile ilgili açık/net olmayan ya da yanlış anlaşılan gereksinimlerin seviyesi" düşük düzeyde ise, o halde Yazılım Riski düşük düzeydedir.

Kural 4: Eğer "proje geliştirme sürecinde yapılacak işlerin belirsizlik seviyesi" yüksek düzeyde ve "etkin proje yönetiminin eksiklik seviyesi" orta düzeyde ise, o halde Yazılım Riski yüksek düzeydedir.

Kural 5: Eğer "proje geliştirme sürecinde yapılacak işlerin belirsizlik seviyesi" orta düzeyde ve "etkin proje yönetiminin eksiklik seviyesi" orta düzeyde ise, o halde Yazılım Riski orta düzeydedir.

Kural 6: Eğer "proje geliştirme sürecinde yapılacak işlerin belirsizlik seviyesi" düşük düzeyde ve "etkin proje yönetiminin eksiklik seviyesi" düşük düzeyde ise, o halde Yazılım Riski düşük düzeydedir.

Kural 7: Eğer "proje geliştirme sürecinde uygun olmayan proje planlaması" orta düzeyde ve "proje ekibinde çalışanların deneyimsizlik seviyesi" yüksek düzeyde ise, o halde Yazılım Riski yüksek düzeydedir.

Kural 8: Eğer "proje geliştirme sürecinde uygun olmayan proje planlaması" düşük düzeyde ve "proje ekibinde çalışanların deneyimsizlik seviyesi" orta düzeyde ise, o halde Yazılım Riski orta düzeydedir.

Kural 9: Eğer "proje geliştirme sürecinde uygun olmayan proje planlaması" düşük düzeyde ve "proje ekibinde çalışanların deneyimsizlik seviyesi" düşük düzeyde ise, o halde Yazılım Riski düşük düzeydedir.

Kural 10: Eğer "geliştirilecek yazılım projesinde yeni ortaya çıkan teknoloji kullanımı" yüksek düzeyde ve "proje ekibindeki yeterli eğitimi olmayan kişilerin sayısı" orta düzeyde ve "geliştirilecek sistemde yeni ya da tanıdık olmayan noktaların veya hususların sayısı" orta düzeyde ise, o halde Yazılım Riski yüksek düzeydedir.

Kural 11: Eğer "geliştirilecek yazılım projesinde yeni ortaya çıkan teknoloji kullanımı" orta düzeyde ve "proje ekibindeki yeterli eğitimi olmayan kişilerin sayısı" düşük düzeyde ve "geliştirilecek sistemde yeni ya da tanıdık olmayan noktaların veya hususların sayısı" orta düzeyde ise, o halde Yazılım Riski orta düzeydedir.

Kural 12: Eğer "geliştirilecek yazılım projesinde yeni ortaya çıkan teknoloji kullanımı" düşük düzeyde ve "proje ekibindeki yeterli eğitimi olmayan kişilerin sayısı" düşük düzeyde ve "geliştirilecek sistemde yeni ya da tanıdık olmayan noktaların veya hususların sayısı" düşük düzeyde ise, o halde Yazılım Riski düşük düzeydedir.

Kural 13: Eğer "yazılım geliştirme sürecinde kullanıcı görüşlerinin eksikliği" orta düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde ortaya çıkan teknik karmaşıklık seviyesi" yüksek düzeyde ise, o halde Yazılım Riski yüksek düzeydedir.

Kural 14: Eğer "yazılım geliştirme sürecinde kullanıcı görüşlerinin eksikliği" düşük düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde ortaya çıkan teknik karmaşıklık seviyesi" orta düzeyde ise, o halde Yazılım Riski orta düzeydedir.

Kural 15: Eğer "yazılım geliştirme sürecinde kullanıcı görüşlerinin eksikliği" düşük düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde ortaya çıkan teknik karmaşıklık seviyesi" düşük düzeyde ise, o halde Yazılım Riski düşük düzeydedir.

Kural 16: Eğer "yazılım geliştirme sürecinde proje ile ilgili değişiklik seviyesi" orta düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde izlenen politikanın negatif etkisi" yüksek düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde var olan paydaşların tanımının/tanıtımının yetersiz olması" orta düzeyde ise, o halde Yazılım Riski yüksek düzeydedir.

Kural 17: Eğer "yazılım geliştirme sürecinde proje ile ilgili değişiklik seviyesi" düşük düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde izlenen politikanın negatif etkisi" orta düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde var olan paydaşların tanımının/tanıtımının yetersiz olması" orta düzeyde ise, o halde Yazılım

Riski orta düzeydedir.

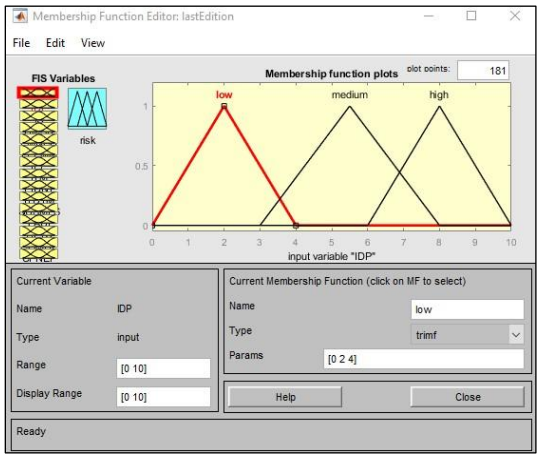
Kural 18: Eğer "yazılım geliştirme sürecinde proje ile ilgili değişiklik seviyesi" düşük düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde izlenen politikanın negatif etkisi" düşük düzeyde ve "yazılım geliştirme sürecinde var olan paydaşların tanımının/tanıtımının yetersiz olması" düşük düzeyde ise, o halde Yazılım Riski düşük düzeydedir.

8. Kural Tabanlı Yöntem ve Teknik

Yukarıda 7. bölümde belirtilen kural esaslı risklere bağlı 18 kuralın etkinliği kural tabanlı yöntem ve tekniğe olanak sağlayan MATLAB platformu içerisindeki "Fuzzy Logic Designer" aplikasyonu ile denenmiş ve test edilmiştir. Bu bağlamda tanımlanan 18 özgün kural bu uygulamaya eklenmiş ve yazılım risklerini tanımlama konusundaki uygulanabilirliği ortaya konmuştur. Aşağıda Tablo 3'te, uygulama sokulan kurallardaki parametrelerin girdi ve çıktı düzey değerleri yazılmıştır.

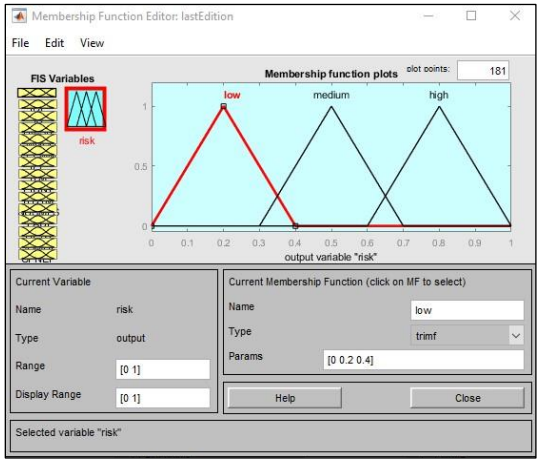
Tablo 3. Kurallardaki parametrelerin düzey değerleri

Girdi Aralığı			**Çıktı Aralığı**		
düşük	orta	yüksek	düşük	orta	yüksek
[0 2 4]	[3 5,5 8]	[6 8 10]	[0 0,2 0,4]	[0,3 0,5 0,7]	[0,6 0,8 1]



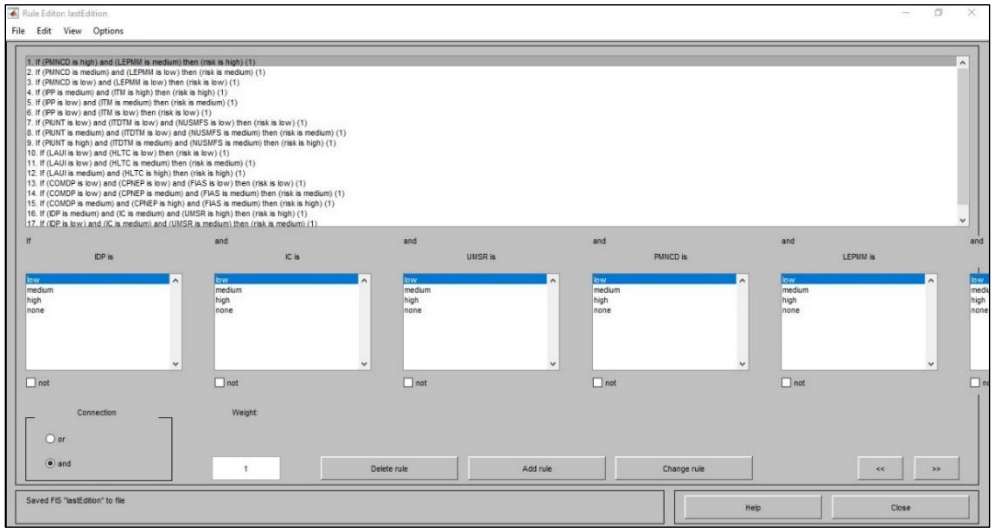
Şekil 3. MATLAB üzerinde girdi aralığının belirlenmesi

Şekil 3'de, MATLAB üzerindeki kural tabanlı yöntem ve teknik uygulamasında bir girdiye ait üyelik fonksiyonu gösterilmektedir. Bu uygulamada girdi için üçgen işlevi gibi davranan "trimf" tipi üyelik oluşturulmuştur. Ayrıca, uygulamada girdi için düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç düzey tanımlanmıştır. Düşük düzey girdi için minimum değer 0, maksimum değer 4 ve en üst aitlik yaratan değer 2'dir. Orta düzey girdi için minimum değer 3, maksimum değer 8 ve en üst aitlik yaratan değer 5,5'tir (İşlemlerin kolay olması açısından 5 değerine indirgenmiştir). Yüksek düzey girdi için ise minimum değer 6, maksimum değer 10 ve en üst aitlik yaratan değer 8'dir.



Şekil 4. MATLAB üzerinde çıktı aralığının belirlenmesi

Şekil 4'de, MATLAB üzerindeki kural tabanlı yöntem ve teknik uygulamasında bir çıktıya ait üyelik fonksiyonu gösterilmektedir. Bu uygulamada çıktı için üçgen işlevi gibi davranan "trimf" tipi üyelik oluşturulmuştur. Ayrıca, uygulamada girdilerde olduğu gibi çıktılar için de düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç düzey tanımlanmıştır. Düşük düzey çıktı için minimum değer 0, maksimum değer 0,4 ve en üst aitlik yaratan değer 0,2'dir. Orta düzey çıktı için minimum değer 0,3, maksimum değer 0,7 ve en üst aitlik yaratan değer 0,5'tir. Yüksek düzey çıktı için ise minimum değer 0,6, maksimum değer 1 ve en üst aitlik yaratan değer 0,8'dir.



Şekil 5. MATLAB üzerinde kural esaslı risklerin tanımlanması

Şekil 5, tanımlanan kuralları göstermektedir. Bu 18 kural "Rule Editor" yardımı ile MATLAB platformundaki "Fuzzy Logic Designer" aplikasyonuna eklenmiştir.



Şekil 6. MATLAB üzerinde kural esaslı risklerin çıktıları

Şekil 6'da, tanımlanan kuralların çıktılarından bir bölüm gösterilmektedir. Bu görsel, *'Eğer "geliştirilecek yazılım projesinde yeni ortaya çıkan teknoloji kullanımı" orta düzeyde (değer: 5) ve "proje ekibindeki yeterli eğitimi olmayan kişilerin sayısı" düşük düzeyde (değer: 2) ve "geliştirilecek sistemde yeni ya da tanıdık olmayan noktaların veya hususların sayısı" orta düzeyde (değer: 5) ise, o halde Yazılım Riski orta düzeydedir (değer: 0,5)'* kuralına aittir. Bu tutarlı sonuçla birlikte kural esaslı risklerin kural tabanlı yöntem ve teknikle, yazılım risk değerlendirmesi ve yönetimi açısından uygun ve etkin olduğu net bir şekilde görülmektedir.

9. Sonuç

Yazılım geliştirme, bir yazılım geliştirme yaşam döngüsü sürecini izleyen çok aşamalı bir tasarım, dokümantasyon, programlama, prototipleme, test vb. işlemler bütünüdür. Yazılım geliştirme sırasında, yazılım geliştirme yaşam döngüsü süreci çerçevesine dayalı olarak farklı görevler gerçekleştirilmektedir. Yazılım projesinin geliştirilmesi ve sürdürülmesi her adımda risk/riskler içermektedir. Herhangi bir aşamayla ilişkili risklerin göz ardı edilmemesi, tanımlanması ve yönetilmesi (çözülmesi) gerekmektedir, aksi takdirde işletmeler (yazılım firmaları) için öngörülemeyen zorluklar ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte yazılım riskleri, gelecekteki durumlarla ilişkili belirsiz olaylardır, kendi içinde meydana gelme olasılığı vardır ve gerçekleştiğinde projeye zarar/zararlar getirmektedir. Herhangi bir yazılım projesinin başarısı ve başarısızlığı bu sürece bağlı olduğundan, risk değerlendirme ve yönetimi yazılım projesi geliştirme sırasında oldukça önemlidir. Bu bağlamda, bu çalışmada sunulan kural esaslı risklerin ve kural tabanlı yöntem ve tekniğin yazılım risklerini tanımlama ve tanıtmadaki uygunluğu gösterilmiş ve yazılım risk değerlendirmesindeki etkinliği ortaya konmuştur. Ortaya konulan bu etkin yazılım risk değerlendirmesi, yazılım geliştirme sürecinin başarısına pozitif yönde etki edecektir.

Kaynaklar

Batar, M., Birant, K., Işık, A. (2021). Yazılım risklerinin doğasına uygun yöntem: Bulanık mantık. *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, *1* (1), 29-35.

Becker, J., Dai, R. W. (2011). Understanding IT project risks as disturbances to digital ecosystems. *International Conference on Management of Emergent Digital EcoSystems (MEDES'11),* 137-142.

Birant, K. U., Işık, A. H., Batar, M., Akarsu, H. B., Tektaş, A. B. (2019). Risk assessment and management method for distributed software development projects with "fuzzy approach". *International Journal of Computer Science and Software Engineering (IJCSSE), 8* (6), 133-139.

Calp, M. H., Akcayol, M. A. (2015). Yazılım projelerinde karşılaşılan risk faktörleri ve risk yönetim süreci. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi, 27* (1), 1-13.

Dey, P. K., Kinch, J., Ogunlana, S. O. (2007). Managing risk in software development projects: A case study. *Industrial Management & Data Systems, 107* (2), 284-303.

Fairley, R. (1994). Risk management for software projects. *IEEE Software*, *11* (3), 57-67.

Fakhar, M. Z., Abbas, M., Waris, M. (2013). Risk management system for ERP software project. *2013 Science and Information Conference,* 223-228.

Feng, N., Li, M., Gao, H. (2009). A software project risk analysis model based on evidential reasoning approach. *2009 WRI World Congress on Software Engineering,* 224-228.

Gülebağlan, S. (2006). *Yazılım geliştirmede risk yönetimi.* Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale.

Hall, E. M. (1998). *Managing risk: methods for software systems development.* United Kingdom: Pearson Education.

Hoermann, S., Aust, M., Schermann, M., Krcmar, H. (2012). Comparing risks in individual software development and standard software implementation projects: A delphi study. *45th Hawaii International Conference on System Sciences,* 4884-4893.

Keil, M., Cule, P. E., Lyytinen, K., Schmidt, R. C. (1998). A framework for identifying software project risks. *Communications of the ACM, 41* (11), 76-83.

Khan, S. (2009). An approach to facilitate software risk identification. *2009 2nd International Conference on Computer, Control and Communication,* 1-5.

Kumar, C., Yadav, D. K. (2015). A probabilistic software risk assessment and estimation model for software projects. *Procedia Computer Science, 54,* 353-361.

Lamersdorf, A., Munch, J., Torre, A. F., Sánchez, C. R., Heinz, M., Rombach, D. (2010). A rule-based model for customized risk identification in distributed software development projects. *2010 5th IEEE International Conference on Global Software Engineering,* 209-218

Lezzoni, L. K. (1997). The risks of risk adjustment. *JAMA Journal of the American Medical Association, 278* (19), *1600-1607.*

Liu, L., Horowitz, E. (1989). A formal model for software project management. *IEEE Transactions on Software Engineering, 15* (10), 1280-1293.

Lyytinen, K., Mathiassen, L., Ropponen, J. (1996). A framework for software risk management. *Journal of Information Technology, 11* (4), 275-285.

Min, W., Jun, Z., Wei, Z. (2017). The application of fuzzy comprehensive evaluation method in the software project risk assessment. *2017 International Conference on Management Engineering, Software Engineering and Service Sciences,* 76-79.

Renn, O. (2004). Perception of risks. *Toxicology Letters, 149* (1), 405-413.

Smith, M. (1989). The people risks. *Computer Law & Security Review, 4* (6), 2-6.

Sonchan, P., Ramingwong, S. (2014). Top twenty risks in software projects: A content analysis and Delphi study. *2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON),* 1-6.

Stellman, A., Greene, J. (2005). *Applied software project management.* USA: O'Reilly Media, Inc.

Wallace, L., Keil, M. (2004). Software project risks and their effect on outcomes. *Communications of the ACM, 47* (4), 68-73.

Warkentin, M., Moore, R. S., Bekkering, E., Johnston, A. C. (2009). Analysis of systems development project risks: An integrative framework. *The DATA BASE for Advances in Information Systems, 40* (2), 8-27.

Xiaosong, L., Shushi, L., Wengun, C., Songjiang, F. (2009). The application of risk matrix to software project risk management. *2009 International Forum on Information Technology and Applications*, 480-483.

Yazılım Projelerinde Geliştiriciye Bağlı Riskler

Mustafa BATAR*[1,a], Kökten Ulaş BİRANT[2,b], Ali Hakan IŞIK[3,c]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, 35390, İzmir

[2]Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 35390, İzmir

[3]Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 15030, Burdur

Öz

Yazılım projesi; istenilen yazılım ürününü tasarlayıp geliştirebilmek için belirli bir süre ve bütçe içinde geliştirme metodolojilerine göre gerçekleştirilen, gerekli isterleri belirleyerek başlanıp test, bakım ve güncelleştirmeye kadar ilerleyen bir prosedürdür. Yazılım geliştirme sürecinde en büyük etkiye sahip kaynak insan faktörüdür; bir başka deyişle yazılım projelerinde işin başlangıcından bitimine kadar her daim aktif yer alan geliştiricilerdir. Bununla birlikte 2016 yılında yayınlanan "CHAOS" raporuna göre, yazılım projelerinin sadece %17'si istenilen sürede, istenilen finansal planda ve gerekli fonksiyonellik doğrultusunda başarılı bir şekilde tamamlanmıştır. Fakat yazılım projelerinin %53'ü, istenilen süreyi aşarak ve/veya potansiyel olarak harcama planının üzerine çıkarak ve/veya istenilen gereksinimleri karşılayamadan eksik bir şekilde tamamlanmıştır. Ayrıca %30 oranında, yazılım projeleri tamamlanamayıp maalesef yarıda kalmıştır. 2020 yılında yayınlanan "CHAOS" raporunda ise, yazılım projelerinin sadece %33'ünün başarıyla tamamlanabildiği kayıtlara geçmiştir. Vasatın altında bir orana sahip yazılım projelerinin başarı oranını artırabilmek için, iyi bir yazılım proje yönetiminin yapılıp etkin bir yazılım risk değerlendirmesinin uygulanıp yazılım projelerinin başarısını olumsuz yönde etkileyen yazılım risklerinin probleme yol açmadan belirlenmesi gerekmektedir. Yazılım riskleri ortaya çıkarılırken yazılım projelerinin gelişim sürecinin tüm aşamalarına etki eden geliştiriciye bağlı risklere öncelik verilmelidir. Bu şekilde, yazılım geliştirmenin önemli kaynaklarından biri olan insan gücü daha verimli ve daha etkin kullanılıp yazılım projelerinin başarı oranı artırılabilecektir. Bu bağlamda, bu çalışma için yazılım geliştirme sürecinde ortaya çıkabilecek geliştiriciye bağlı riskler ile ilgili detaylı bir alan yazın çalışması yapılmış olup, belirlenen riskler ve etkileri (hem nicelik hem de nitelik bakımında) örnekleriyle beraber gösterilip açıklanmıştır.

Anahtar kelimeler: Yazılım Projeleri, Yazılım Proje Yönetimi, Yazılım Risk Değerlendirmesi, Yazılım Riskleri, Geliştiriciye Bağlı Riskler

Developer-Based Risks in Software Projects

Abstract

Software project is a procedure that is carried out according to development methodologies within a certain time and budget in order to design and develop the desired software product, starting by determining the necessary requirements and progressing to testing, maintenance and updating. The source that has the greatest impact on the software development process is the human factor. In other words, these are the developers who are always actively involved in software projects from the beginning to the end of the work. However, according to the "CHAOS" report published in 2016, only 17% of the software projects were successfully completed in the desired time, in the desired financial plan and in line with the required functionality. 53% of the software projects were completed incompletely by exceeding the desired time, exceeding the expenditure plan and without meeting the desired requirements. In addition, 30% of the software projects could not be completed and remained unfortunately incomplete. In the "CHAOS" report published in 2020, it was recorded that only 33% of the software projects could be successfully completed. In order to increase the success rate of software projects with a rate below average, it is necessary to make a good software project management and apply an effective software risk assessment and determine the software risks, which negatively affect the success of software projects, without causing any problems. While revealing software risks, the priority should be given to developer-

based risks affecting all stages of the development process of software projects. In this way, manpower, which is one of the important sources of the software development, can be used more efficiently and effectively, and the success rate of software projects can be increased. In this context, for this study, a detailed literature study has been conducted on the risks associated with the developers that may arise during the software development process, and the identified risks and their effects (both in terms of quantity and quality) have been shown and explained with examples.

Keywords: Software Projects, Software Project Management, Software Risk Assessment, Software Risks, Developer-Based Risks

1. Giriş

Şimdiye kadar, yazılım projelerinin risk durumlarını ölçmek ve değerlendirmek amacıyla çeşitli parametreler belirlenmiş ve ortaya konmuştur: üretkenlik, taahhüt, kaliteye önem verme, koda dayalı bilgi, beceri ve değerlendirme, kodlamanın genel yapısına ve kurallarına uygunluk, öğrenme becerisi, kişisel sorumluluk bilinci, vb. gibi. Ancak, yazılım projelerinin risk durumlarını ölçmek ve değerlendirmek amacıyla dünyaca herkes tarafından kabul görmüş herhangi bir set yoktur. Bu can alıcı durumun üç ana sebebi olduğu düşünülebilir (Batar, 2015): Birinci sebep, geliştirilen her bir yazılım parçası kendi içinde tektir. Fakat aynı yazılım parçasını geliştirmek ve ilerletmek için onu sil baştan yaratmaya gerek yoktur; elimizde var olan hali hazırdaki yazılım parçasını kopyalayarak, üzerinde oynama yaparak, değiştirerek bu durum çözülebilmektedir. Bu da, birbirine benzer iki yazılım parçası arasında hem nitelik hem de nicelik bakımından tam doğru bir karşılaştırmanın yapılamamasına neden olmaktadır. İkinci sebep, günümüz teknolojisi sürekli değişen, gelişen ve kendini yenileyen bir süreç içerisindedir. Bunun doğal bir sonucu olarak, yazılım projelerinin risk durumlarını ölçen ve değerlendiren bir yöntemin kullandığı oldukça güvenilir bir teknoloji ya da teknoloji esaslı metrikler dizisi çok geçmeden önemini kaybetmiş ve eskimiş duruma gelmektedir. Bunun neticesinde, bu yöntem ve parametreler işe yaramaz olmaktadır. Üçüncü sebep, verilen aynı problemi çözmek için birden çok, birbirinden tamamen farklı çeşitli yöntemler geliştirilip özgünlük, kendine has olma, yaratıcılık kavramları had safhaya çıkarılabilmektedir. Örneğin, aynı probleme çözüm getirmeye çalışan yazılım geliştiricilerin yazdığı kodların satır sayılarını hesaplamak, problemin büyüklüğünü değil, çözümün büyüklüğünü ölçmek demektir. Bu da elle tutulur, somut verilerin parametreye dönüşmedeki zorluğunu açıkça göstermektedir. Bu çalışmada, yazılım geliştirme sürecinde yazılım projelerinde ortaya çıkabilecek geliştiriciye bağlı riskler ile ilgili olarak hali hazırda yapılmış araştırmalar ve yayınlanmış vaka analizleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Ortaya çıkan sonuçlar ışığında, geliştiriciye bağlı risk parametreleri seti oluşturulmaya çalışışmış ve ortaya konmuştur.

2. Yazılım

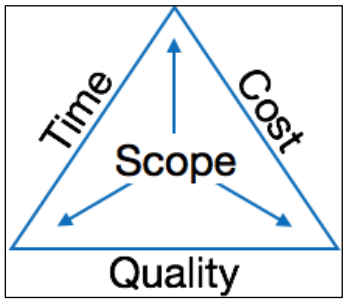
Yazılım (bilgisayar yazılımı), bilgisayarları çalıştırmak ve belirli görevleri yerine getirmek için kullanılan bir dizi talimat, veri veya programlar bütünüdür (Herbsleb ve Moitra, 2001). Bir bilgisayarın fiziksel yönlerini tanımlayan donanımın tam tersidir. Yazılım, bir cihazda çalışan uygulamalara, komut dosyalarına ve programlara atıfta bulunmak için kullanılan genel bir terimdir. Bir bilgisayarın değişken bir parçası olarak düşünülebilirken, donanım değişmez bir parçadır. Yazılımın iki ana kategorisi, uygulama yazılımı ve sistem yazılımıdır. Uygulama, belirli bir ihtiyacı karşılayan veya görevleri yerine getiren yazılımdır. Sistem yazılımı ise, bir bilgisayarın donanımını çalıştırmak için tasarlanan ve uygulamaların üzerinde çalışması için bir platform sağlayan yazılımdır. Diğer yazılım türleri arasında, geliştiricilerin ihtiyaç duyduğu programlama araçlarını sağlayan programlama yazılımları, sistem yazılımı ve uygulamalar arasında yer alan ara yazılımlar ve bilgisayar aygıtlarını ve çevre birimlerini çalıştıran sürücü yazılımları mevcuttur. Bununla birlikte, ilk geliştirilen yazılımlar belirli bilgisayarlar için yazılmış ve üzerinde çalıştığı donanımla satılmıştır. 1980'lerde, yazılımlar disketlerde ve daha sonra CD ve DVD'lerde satılmaya başlanmıştır. Günümüzde çoğu yazılım satın alınmakta ve doğrudan internet üzerinden indirilmektedir. Yazılım, satıcı web sitelerinde veya uygulama hizmeti sağlayıcı web sitelerinde rahatlıkla bulunabilmektedir (Kraut ve Streeter, 1995).

3. Yazılım Projeleri

Yazılım projesi, istenen yazılım ürününü elde edebilmek için belirli bir süre içinde yazılım metodolojilerine göre yürütülen, gereksinimleri toplamadan test ve bakıma kadar olan yazılım geliştirme sürecinin eksiksiz bir prosedürüdür. Yazılımın aslında soyut bir ürün olduğu söylenmektedir. Yazılım geliştirme, iş dünyasında tamamen yeni bir akımdır ve yazılım ürünleri oluşturma konusunda çok az deneyim vardır. Çoğu yazılım ürünü, müşterilerin gereksinimlerine uyacak şekilde özel olarak üretilir. En önemlisi, temeldeki teknolojinin o kadar sık ve hızlı değişip gelişmesidir ki, bir ürünün deneyimi diğerine uygulanamayabilir. Tüm bu tür iş ve çevresel kısıtlamalar, yazılım geliştirmede riskleri getirmekte, bu nedenle de yazılım projelerini verimli bir şekilde yönetmek oldukça önem teşkil etmektedir. Bununla birlikte, *maliyeti* müşterinin bütçe kısıtlaması dâhilinde tutarak *kaliteli* ürün sunmak ve projeyi *planlandığı* gibi teslim etmek yazılım organizasyonunun önemli bir parçasıdır. Bu üçlü sınırlama üçgenini etkileyebilecek hem iç hem de dış riskler mevcuttur. Ayrıca, üçgenin içinde yer alan bu faktörler birbirlerini etkileyebilecek güce sahiptirler (Rook, 1986).

4. Yazılım Proje Yönetimi

Yazılım proje yönetimi, yazılım projelerini planlama ve yönetme sanatıdır. Yazılım projelerinin planlandığı, uygulandığı, izlendiği ve kontrol edildiği proje yönetimine ait olan bir alt disiplindir (Biswas vd., 2007). Bununla birlikte, yazılım proje yöneticisi, yazılım projesini yürütme sorumluluğunu üstlenen kişidir. Yazılım proje yöneticisi, yazılımın geçeceği geliştirme süreçlerinin tüm aşamalarının tamamen farkındadır. Proje yöneticisi nihai ürünün üretimine asla doğrudan dâhil olmaz, ancak üretimle ilgili faaliyetleri kontrol eder ve yönetir. Ayrıca, bir proje yöneticisi; geliştirme sürecini yakından izler, çeşitli planlar hazırlar ve yürütür, gerekli ve yeterli kaynakları düzenler, maliyet, bütçe, kaynaklar, zaman, kalite ve müşteri memnuniyeti konularını ele almak için tüm ekip üyeleri arasında iletişimi sürdürür. Bununla birlikte yazılım proje yönetiminde temel alınan üçgen aşağıdaki Şekil 1'de gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 1. Yazılım proje yönetimi üçgeni (Jurison, 1999)

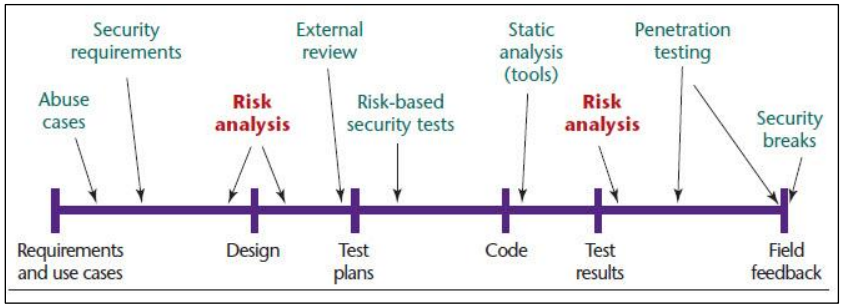
Yazılım proje yönetimi; proje planlaması, yazılım ürününün kapsamına karar verilmesi, çeşitli parametrelerle maliyet tahmini, görevlerin ve olayların programlanması ve kaynak yönetimini içeren bir dizi faaliyetten oluşur. Proje yönetimi faaliyetleri projenin planlanması, kapsam yönetimi ve proje tahmini şeklinde sıralanabilir. Yazılım proje planlaması, yazılım üretimi fiilen başlamadan önce gerçekleştirilen bir görevdir. Yazılım üretimi için yapılmaktadır, ancak yazılım üretimi ile herhangi bir yön bağlantısı olan somut bir faaliyet içermez; daha ziyade, yazılım üretimini kolaylaştıran bir dizi çoklu süreç içerisinde barındırmaktadır. Kapsam yönetimi ise, proje kapsamını tanımlar; teslim edilebilir bir yazılım ürünü geliştirmek için yapılması gereken tüm faaliyetleri, süreci içerir. Kapsam yönetimi oldukça önemlidir çünkü projede ne yapılacağını ve neyin yapılmayacağını açıkça tanımlayarak projenin sınırlarını oluşturur. Bu bağlamda, projenin sınırlı ve ölçülebilir görevler içermesini sağlar. Ayrıca, kolayca belgelenebilir olduğundan maliyet ve zaman aşımını önlemektedir. Bununla birlikte, etkili bir yazılım yönetimi için çeşitli önlemlerin doğru tahmin (proje tahmini) edilmesi şarttır. Doğru tahmin ile yöneticiler projeyi daha verimli ve etkili bir şekilde yönetebilir ve kontrol edebilirler (Liu & Horowitz, 1989).

5. Yazılım Risk Değerlendirmesi

Yazılım risk değerlendirmesi, yazılım geliştirme projeleri için teşhis ve karar verme aracıdır. Ürün, süreç ve kısıtlı kaynaklardan ortaya çıkan belirli yazılım risk bildirimlerini tanımlamak ve kategorilere

ayırmak için yazılım risk değerlendirmesi kullanılır (Fairley, 1994). Yazılım projelerinin kendi personeli ve kendi geliştirme çabalarıyla karşı karşıya olan risk bildirimlerinin tanımlanmasına ve analizine ve ayrıca risk alanlarının azaltılmasına (ortak etki azaltma stratejileri) yazılım risk değerlendirmesi katkı sağlar.

Yazılım risk değerlendirmesi aşağıdaki özniteliklere sahiptir (Kumar & Yadav, 2015):
Sistematik bir şekilde risklerin belirlenmesi, analiz edilmesi ve azaltılmasına yönelik ekibin eğitimi
Yazılım ve sistem ürünlerinin teslimatını ve kalitesini etkileyebilecek risklere odaklanma
Proje yöneticisi ve personeline, tanımlanan riskler hakkında çoklu bakış açıları sağlama
Müşteri ve tedarikçiler için yazılım risk yönetimine için temel oluşturma
Yazılım risk değerlendirmesi, yazılım proje yöneticisine yapılandırılmış bir erken uyarı mekanizması (riskleri tahmin etme ve ele alma) sağlar. Ayrıca, yazılım risklerini yönetme sürecini başlatan bir dizi faaliyet sunar. Bu faaliyetler mevcut yöntem ve araçlarla yazılım projesi yönetimine rahatlıkla entegre edilebilmektedir. Yazılım risk değerlendirmesi süreci aşağıdaki Şekil 2'de gösterilmeye çalışılmıştır.



Şekil 2. Yazılım risk değerlendirmesi süreci (Robles vd., 2005)

6. Geliştiriciye Bağlı Riskler

Bu bölümde alanyazında ön plana çıkan geliştiriciye bağlı riskler tanımlanmış ve proje bazlı etkisi aşağıdaki tablolarda – Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3 – gösterilmeye çalışılmıştır.

Tablo 1. İnşaat yazılımı projesi (Dey vd., 2007)

Önem Sırası	Risk	AdamSaat
1	Eksik/Yetersiz kaynak	90
2	Doğru olmayan gereksinimler	50
3	Kapsam karmaşası	50
4	Yanlış/Yetersiz tasarım	50
5	Uygun olmayan geliştirme aracı	30
6	Müşteri ile iletişim eksikliği	25
7	Kod ve birim testteki sıkıntılar	20

Tablo 2. Kurumsal kaynak planlama yazılımı projesi (Fakhar vd., 2013)

Önem Sırası	Risk	Etkisi
1	Ana çalışan kadro	Ölümcül
2	Fazla iş yükü	Ciddi boyutta
3	Değerli bilgi kaybı	Ciddi boyutta
4	Çalışanların değişmesi	Ciddi boyutta
5	Çalışanların uygun yeterliliklere sahip olamaması	Ciddi boyutta
6	Teslimatta gecikme	Ciddi boyutta
7	Risk yönetim sistemini takip etmeme	Ciddi boyutta

8	Çalışanların hasta olması	Ciddi boyutta
9	Çalışanların birden fazla becerisinin olmaması	Tolere edilebilir
10	Yarı zamanlı çalışma	Tolere edilebilir
11	Kültürel sorunlar	Tolere edilebilir
12	Yetersiz oryantasyon	Tolere edilebilir

Tablo 3. Yazılım Mühendisliği Enstitüsü (Software Engineering Institute, 2014)

Önem Sırası	**Risk**	**Etkisi**
1	Gereksinimleri karşılayamama	72 birim
2	Net olmayan gereksinimler	64 birim
3	Gereksinimin kapsamının net olmaması	63 birim
4	Çalışanların değişmesi	50 birim
5	Teknik karmaşıklık	49 birim
6	Ekiptekiler arasındaki tartışma, görüş ayrılıkları	48 birim
7	İyimser kaynak planlaması	42 birim
8	Teknik beceri eksikliği	40 birim
9	Uygun olmayan geliştirme süreci	35 birim
10	Düşük yazılım performansı	24 birim
11	Uygun olmayan alt yapı	24 birim
12	Kullanıcı ısrarı	24 birim
13	Gerçekçi olmayan bütçeleme	20 birim
14	İletişim eksikliği	18 birim
15	Takım kapasitesinin yetersiz olması	16 birim
16	Yeni teknolojiler ile ilgili sorunlar	12 birim
17	Yasa eksikliği	12 birim
18	Yetersiz kaynak	10 birim
19	Gerçekçi olmayan planlama	9 birim
20	Yönetici eksikliği	5 birim

7. Sonuç

Risk yönetimi, yazılım proje yönetiminde önemli bir süreçtir. Riskleri etkin bir şekilde yönetmek için, geliştiricilerin yeterli deneyime ya da etkili yardımcı araçlara ihtiyaçları vardır. Risk kontrol listesi, bu süreçte yazılım mühendislerine yardımcı olmak için kullanılan çok yaygın bir araçtır. Bununa birlikte, genel kontrol listeleri geniş ve odaklanmamış bir risk koleksiyonu da sağlamaktadır, ancak risklerin etkilerini ve olasılıklarını genel olarak içermemektedir. Yeterli yazılım mühendisliği deneyimi olmadan yazılım risk yönetimi sürecinin etkinliğini büyük ölçüde azalmaktadır.

Uzman yönetim bilimci Peter DRUCKER tarafından söylendiği iddia edilen bir söze göre, *"Ölçemediğiniz süreci değerlendiremezsiniz ve yönetemezsiniz."* Bu ifade ışığında, yazılım projelerinin başarısını artırmak için geliştirilen yazılım risk yönetiminde, öncelikli olarak yazılım risklerinin ortaya çıkarılıp tanımlanması gerekmektedir. Bu gereklilik doğrultusunda, çalışmada etkileri ile beraber tanımlanan geliştiriciye bağlı risklere öncelik verilmelidir Bu doğrultuda, riskler ortaya çıkmadan önce kontrol altına alınıp yazılım geliştirme sürecinin daha başarılı olabileceği ihtimali ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, yazılım geliştirmenin ana kaynağı olan insan gücü daha etkin bir şekilde kullanılıp, zaman ve maliyet hesabı açısından şirketler ve kuruluşlar tarafından tasarruflar ve artılar rahatlıkla ortaya çıkabilecektir.

Kaynaklar

Batar, M. (2015). *Yazılım geliştiricilerinin çalışma performanslarının ölçülmesi ve değerlendirilmesine yönelik bütünleşik bir yöntem.* Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Biswas, G., Leelawong, K., Schwartz, D., Vye, N. (2007). Learning by teaching: A new agent paradigm for educational software. *Applied Artificial Intelligence, 19* (3), 363-392.

Dey, P. K., Kinch, J., Ogunlana, S. O. (2007). Managing risk in software development projects: A case study. *Industrial Management & Data Systems, 107* (2), 284-303.

Fairley, R. (1994). Risk management for software projects. *IEEE Software, 11* (3), 57-67.

Fakhar, M. Z., Abbas, M., Waris, M. (2013). Risk management system for ERP software project. *2013 Science and Information Conference,* 223-228.

Herbsleb, J. D., Moitra, D. (2001). Global software development. *IEEE Software*, 18 (2) 16-20.

Jurison, J. (1999). Software project management: The manager's view. *Communications of the Association for Information Systems, 2* (1), 17.

Kraut, R. E., Streeter, L. A. (1995). Coordination in software development. *Communications of the ACM, 38* (3), 69-81.

Kumar, C., Yadav, D. K. (2015). A probabilistic software risk assessment and estimation model for software projects. *Procedia Computer Science, 54*, 353-361.

Liu, L., Horowitz, E. (1989). A formal model for software project management. *IEEE Transactions on Software Engineering, 15* (10), 1280-1293.

Robles, G., Amor, J.J., Gonzalez-Barahona J.M., Herraiz, I. (2005). Evolution and growth in large libre software projects. *Eighth International Workshop on Principles of Software Evolution (IWPSE'05),* 165-174.

Rook, P. (1986). Controlling software projects. *Software Engineering Journal, 1* (1), 7-16.

Sonchan, P., Ramingwong, S. (2014). Top twenty risks in software projects: A content analysis and Delphi study. *2014 11th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON),* 1-6.

Real-Time Wall Detection and Coloring in Android Platform

Anas NADIFI[1,a], Baran GÖKTAŞ[1,b], Samet TONYALI*[2,c]
[1]Abdullah Gül University, Engineering Faculty, Department of Computer Engineering, 38080, Kayseri
[2]Abdullah Gül University, Graduate School of Engineering & Science, Department of Electrical and Computer Engineering, 38080, Kayseri

Abstract
In this work, we demonstrate and implement an image processing algorithm adapted to Android platform for real time image segmentation, for tracking and coloring of walls. We use OpenCV robust library as well as the CameraX API for real-time frame processing. The algorithm allows the visualization of different colors realistically in the real world without having to physically paint the wall. The proposed application of the algorithm can be used by paint companies to allow their clients to visualize their paint virtually by only using their phone. Current existing solutions for the Android Platform only allow their users to change colors on static images. The novelty of our work is to offer same functionality in a live manner mimicking real life wall paint application to walls.

Keywords: Android, Image Processing, Virtual Wall Painting, OpenCV, Image Segmentation, Image Transformation

1. Introduction

Painting walls is one of the most essential activities of house decoration. Householder expects that the color they choose matches to not only their furniture, but also the concept of the room. For example, it is widely accepted that blue paint fits well with green and gold furniture whereas green paint fits in with grey, brown, pink, and red furniture. However, the expectations may not go well in real world, that is, the contrast between color of furniture and that of walls might be strident due to the tone diversity of colors. In order to overcome this problem and maximize the customer satisfaction, paint companies must help customers observe real appearance of a color on their walls along with the furniture, appliances, and some other stuff present on the walls so that the customers can accurately decide what color will fit well with furniture and some other stuff in a room.

As all companies in a market, paint companies compete, too, and each of them makes an effort to increase their market shares. Therefore, these companies would desire a new technology that allows them to offer their customers to view their walls painted as if they are painted in real world. Then, the color is judged to be fitting or non-fitting. To that end, (Liu et al.) describes a lightweight algorithm with good results for IOS platform, was of utmost importance to guide us to select the most efficient method to be used in each step of our proposed algorithm, from image segmentation, image masking, image output presentation to image tracking and coloring, all was considered while taking into account the limited computational resources provided by most Android phones.

In this work, our attempt is to innovate a method to segment walls and recolor them and present the results to the end users in real-time. Our method has been also implemented for the Android mobile platform to show its effectiveness on computationally limited mobile platforms. Our proposed method makes use of the vast capabilities and advances in computer vision field, which then allows the making of such solution. The final result must be subtle, simple to use as well as efficient. We have chosen Android as platform because it is widely used all over the world.

2. Proposed Method

Our approach can be described in detail in 12 consecutive steps. There are three major steps as follows: Image segmentation, seed point tracking, and wall coloring.

2.1. Image segmentation

As we stated before we sought out to stick to an efficient solution, so even though there are multiple ways of wall detection, we chose to make use of morphological operations (Lee et al., 1987). It can perform as efficient as some other wall detection methods such as Canny, Prewitt, and Sobel.

2.2. Seed point tracking

Intuitively, we thought about how to initially detect the wall from camera input. One of the most efficient ways is to get seed point from user then track it. The seed point coordinates (x,y) are retrieved from the Onclick method parameter provided from the Android Platform. Alternatively, as with the case of edge detection there is many state-of-the-art methods to perform the task (Magarey and Kingsbury, 1998; Boykov et al., 2001; Takacs et al., 2008; Friedman and Russel, 2013), but none of them is perfect. There are always environmental limitations. Each algorithm is suited best for specific parameters in the given input image. Some methods even perform brute force approaches, but they are out of our consideration because our target platform, which is Android, runs on resource-constrained devices (Zeng et al., 1997). Other methods make use of feature descriptors extraction and consecutively tracking using the first reference image, or even make use of video coding algorithms (Takacs et al., 2010; Klein and Murray, 2009). The main issue that we consider is rapidity, which is our top priority. In this work, we aim to perform live image segmentation and tracking and coloring of the walls in the image, all of which are requiring speed which is very limited by sophisticated tracking algorithms.

2.3. Wall coloring

This is the final stage of the approach. Here, we are required to perform the color transformation of the target wall. This step is also limited with lighting conditions. In this step, we focused on how we can make the app show the coloring as realistic as possible. We intuitively thought about the HSV (hue, saturation, value) image space and its ability to make us able to manipulate parameters that can make the color appear natural on image as real painting would.

3. The Algorithm

Our primary reference in the literature (Liu et al.) details the description of an algorithm suited for iOS platform, using only computer vision algorithms. The results demonstrated in the literature are pretty convincing for us that this is definitely our point of start to make same algorithm for Android platform. The algorithm described requires less application effort which translates to less computational requirements and faster, accurate segmentation and coloring of walls in the camera frame as depicted in Figure 11.

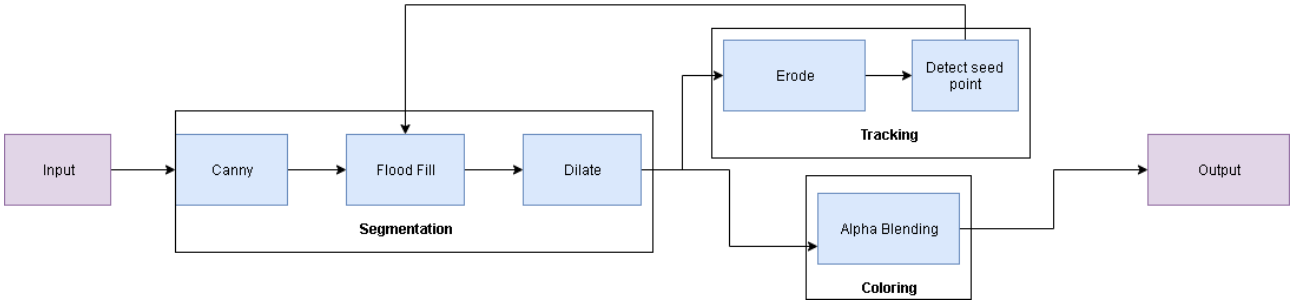


Figure 11. Live wall painting for iOS algorithm diagram

Although we used the diagram in Figure 11 as our starting point we improved it to the algorithm illustrated in Figure 12.

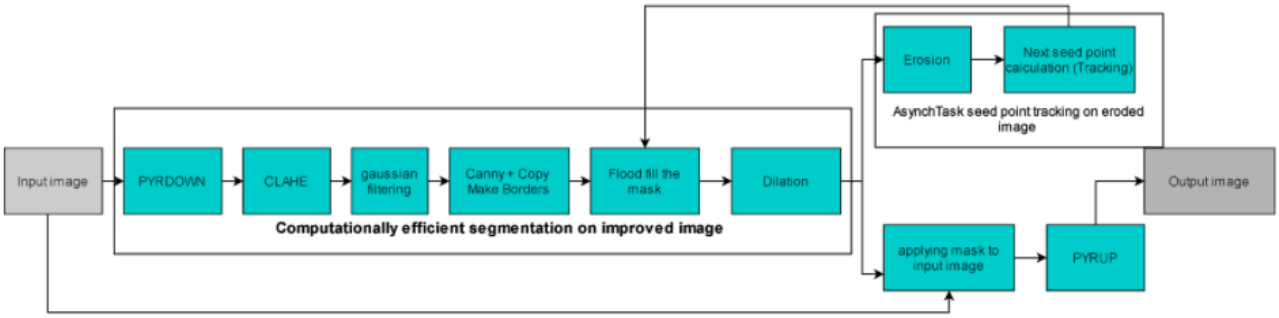


Figure 12. Live wall painting for Android algorithm diagram
As we can see our algorithm can be described in three global steps.

3.1. Image segmentation

This step is necessary to work on the image, we needed a computationally efficient method to segment the input image and locate the exact wall boundaries' coordinates that will be used for the remainder of the algorithm From trial-error, we noticed many things, one of which is the diversity of the complexity of images that can be fed into our algorithm as can be seen in Figure 13. First of all, we need to scale down the image. We used PYRDOWN method provided by OpenCV. It allows the scale down of image matrix without significant change to the original image, then we perform histogram equalization to account for the lighting issues present in real world images. This makes the edge detection task more precise, as regions are clearer after CLAHE (Yadav et al., 2014). Then, we perform Gaussian blurring to smoothen the image before performing Canny for edge detection. For Canny, we used a Sobel kernel of 3x3, with thresholds respecting the general knowledge :

$$max_{threshold} = min_{threshold} * 3 \quad (1)$$

We used $min_{threshold}$ of 25 and $max_{threshold}$ then is 75. Then using the mask obtained from Canny and the initial clicked point (seed point) we perform flood filling on the mask, then the mask is prepared for the next step, which is tracking, by dilating it first.



Figure 13. Real world input image issues

3.2. Tracking

For tracking, we thought about simplest yet most accurate method to feed to the algorithm the next seed point as the camera input changes. We used the previous mask, and with the help of erosion, we attempt to detect the next seed point which is within the wall detected initially. This method is disrupted when phone is moved in a rushed manner but, in a subtle way, the method mostly works. For erosion, we stick to the same kernel used by our reference literature, a matrix large enough 30x30, with ones appearing every 5 rows and 5 columns.

3.3. Wall coloring and output

Finally, the mask is applied to the original image, and the output is shown to user, live.

4. Limitations

We implemented all the state-of-the-art methods, and carefully tweaked their parameters to obtain a perfect result, but we encountered many limitations and constraints:

1) **Image quality:** For the majority of testing the algorithm, a Samsung Galaxy S7 was used, the issue with that is the relatively low image quality as compared to iOS as can be seen in Figure 14, we can see the image properties as well as its quality. This constraint impacted the algorithm in various stages. The algorithm indeed is based on edge detection, morphological operations, etc. and even with the image improvements are made, the performance was not consistently perfect. The impact of object colors on the detected wall on the algorithm's accuracy was emphasized with the previous issue of low image quality. Pitch black objects were also considered as a component of the wall and thus colored, again even with the usage of image improvement methods.

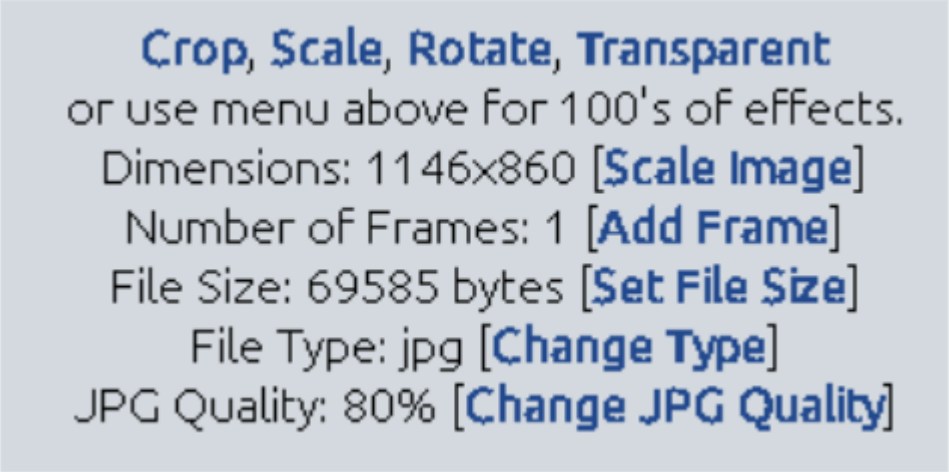


Figure 14. Input image properties

2) **Edges on the same wall:** Obviously, there are many architectural designs for houses, which impact the shape of the walls and the inner shapes inside the same wall, which negatively affect the working of the algorithm. Sharp edges as shown in Figure 13, are hard to be neglected so that it is considered as the same wall.

3) **Shadows and lighting:** As we were testing the application, we encountered cases where the shadows are significantly pronounced, combined with the low image quality. These shadows are almost seen by the algorithm as actual edges. We attempted to resolve this issue with Guassian filtering as described in (Kamanga, 2017) combined with Canny, but the consistent successful edge detection was limited.

4) **Computational resources:** As per the reference literature (Liu et al.), GPU acceleration method was used. This method is not available in the testing device, and thus, the computational resources available for us were much more limited than the reference paper.

5. Results

In this section, we present results of the algorithm with various colors in various circumstances. We picked different environments, with different light conditions as well as different angles (front, right angled, left angled, etc.). The proposed method managed to successfully segment as well as color the detected wall in the given frame. More importantly, the segmentation as well as the coloring managed to keep high accuracy as the camera frame changes, as highlighted in Figure 15, where at the top left we can see the before picture of a room to be color transformed using our proposed method. At top right, we see the room with the color transformed while at bottom right and left, we can see other setups with the proposed method applied.

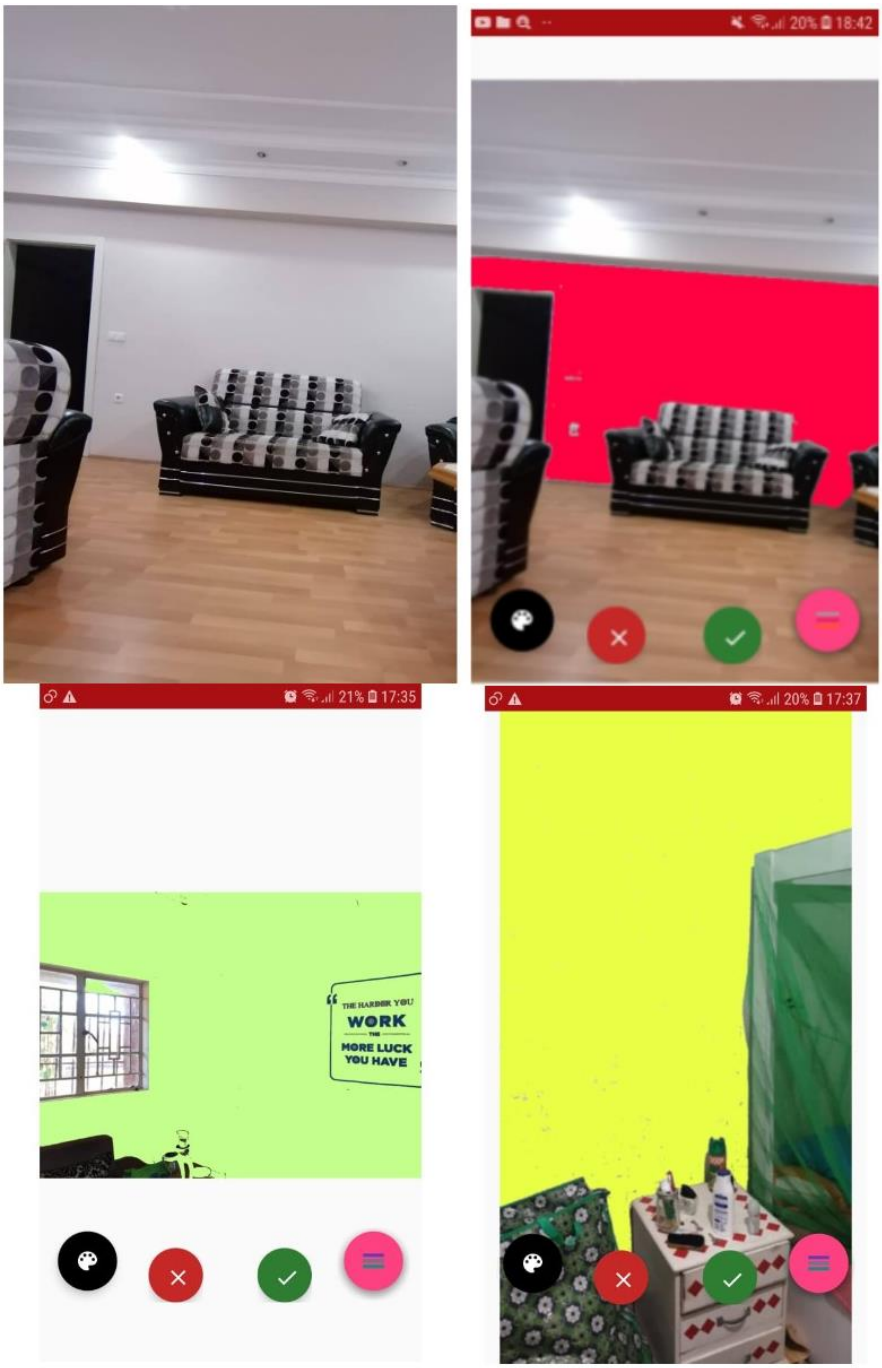


Figure 15. Results of the proposed method

6. Discussion and Conclusion

In this paper, we showed the capabilities of the latest available state-of-the-art computer vision algorithms. The truly powerful open-source library OpenCV allowed us to create an algorithm that accounts for most situations and is flexible to accommodate most constraints. Although the pipeline is powerful enough, improvements can still be made. The true potential of the algorithm will be more pronounced with good devices equipped with sufficient computational resources as well as a camera that provides high quality. Only then the limitations described in the limitations section can be overcome. With an abundance of computational resources, it is worth noting that only then the allowance for the complexity of the algorithm can widen, thereby enabling us to implement more sophisticated methods, which require more resources. For now, the allowance is limited due to the target development platform because of the constraints that we mentioned above (low image quality, etc.). Even with the present

constraints, good enough results were achieved successfully as a real time image segmentation and color transformation mobile solution for Android. As a future work, we are planning to implement the same approach by using the virtual reality technology to help customers experience the virtual painting.

Acknowledgement

We would like to express our deep and sincere gratitude to Dr. Kasım Taşdemir who is a professor at the department of Computer Engineering, Abdullah Gül University, as well as A. Bahçebaşı, M.Sc., from the department of Computer Engineering, Abdullah Gül University, for providing invaluable guidance throughout this research.

References

Boykov, Y., Veksler, O., & Zabih, R. (2001). Fast approximate energy minimization via graph cuts. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 23(11), 1222-1239.

Friedman, N., & Russell, S. (2013). Image segmentation in video sequences: A probabilistic approach. arXiv preprint arXiv:1302.1539.

Kamanga, I. (2017). An Adaptive Approach to Improve Canny Method for Edge Detection. International Journal of Science and Research, 6, 164-168.

Klein, G., & Murray, D. (2009, October). Parallel tracking and mapping on a camera phone. In 2009 8th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (pp. 83-86). IEEE.

Lee, J., Haralick, R., & Shapiro, L. (1987). Morphologic edge detection. IEEE Journal on Robotics and Automation, 3(2), 142-156.

Liu, D., Piersol, J., & Yeung, S. Real-Time Segmentation, Tracking, and Coloring of Walls Using iOS.

Magarey, J., & Kingsbury, N. (1998). Motion estimation using a complex-valued wavelet transform. IEEE Transactions on Signal Processing, 46(4), 1069-1084.

Takacs, G., Chandrasekhar, V., Gelfand, N., Xiong, Y., Chen, W. C., Bismpigiannis, T., Grzeszczuk, R., Pulli, K., & Girod, B. (2008, October). Outdoors augmented reality on mobile phone using loxel-based visual feature organization. In Proceedings of the 1st ACM international conference on Multimedia information retrieval (pp. 427-434).

Takacs, G., Chandrasekhar, V., Tsai, S., Chen, D., Grzeszczuk, R., & Girod, B. (2010, June). Unified real-time tracking and recognition with rotation-invariant fast features. In 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (pp. 934-941). IEEE.

Yadav, G., Maheshwari, S., & Agarwal, A. (2014, September). Contrast limited adaptive histogram equalization based enhancement for real time video system. In 2014 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI) (pp. 2392-2397). IEEE.

Zeng, B., Li, R., & Liou, M. L. (1997). Optimization of fast block motion estimation algorithms. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 7(6), 833-844.

Görüntü İşleme Tekniği Kullanarak Yapı Eğimlerinin Tespit Edilmesi

Ahmet ÇELİK*[1,a]
[1]*Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Tavşanlı Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, 43300, Kütahya*

Öz

Görüntü işleme yöntemleri birçok alanda yaygın olarak kullanılabilmektedir. Üretim, imalat, tıp, harita çalışmaları, askeri görevler, sanat, grafik tasarımı veya inşaat projelerinde kullanılarak kullanıcılara faydalı veriler oluşturabilmektedir. İlk aşamada nesne görüntülerin yüksek çözünürlüklü kameralar kullanılarak elde edilmesi gerekmektedir. Bu aşamada kameranın düz zeminde olmasına özellikle dikkat edilmelidir. Bu görüntülerin belirlenen algoritma yardımıyla işlenmesi ve istenen sonuçların kullanıcıya gösterilmesi gerekmektedir. İnşaat sektörü dünyada hızla gelişmekte ve yeni yapılaşmalar her artmaktadır. Dünyada ihtiyaca göre gökdelenler, köprü ayakları, kuleler gibi çok yüksek uzunlukta yapılar ve haberleşme istasyon antenleri inşa edilmektedir. Bu yapıların herhangi bir yöne eğimlerinin olmaması veya inşaat planında belirtilen şekilde olması istenmektedir. İnşa edilen yapıların ağırlık merkezlerinin iyi hesaplaması yapı güvenliği için çok önemlidir. Bu çalışmada uygun ortamda görüntüleri elde edilen yapıların eğimlerinin görüntü işleme tekniği kullanılarak hesaplanabileceği gösterilmiştir. Görüntü işleme tekniği kullanılarak eğim hesabının yapılabilmesi için görüntü içinde referans noktalarının belirlenmesi gerekmektedir. Eğim sonucunun hatasız elde edebilmek için, belirlenen referans noktalarının konumlarının da doğru seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada referans noktaları belirlemek için mavi, kırmızı ve yeşil renkler kullanılmıştır. Mavi renk dikey üst konumda, yeşil renk yatay alt konumda ve kırmızı renk ise diğer iki noktadan geçen doğruların kesişim noktasında kullanılmıştır. Görüntü içindeki yapının eğimi kırmızı nokta merkez kabul edilerek hesaplanmaktadır. Çalışmada, görüntü üzerindeki 30, 45, 60, 75, 90, 105 ve 135 derecelik gerçek ölçüleri olan noktaların, ölçüm testleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak en düşük başarı 98,540, en yüksek başarı ise %99,940 elde edilmiştir. Ayrıca dünyaca ünlü 5,5 derecelik eğime sahip olduğu bilinen pizza kulesinin görüntüsü bu çalışmada test edildiğinde eğimi 5,389 derece bulunmuştur. Bu çalışma, uygun ortamda görüntüleri elde edilen yapıların eğimlerinin, görüntü işleme tekniği kullanılarak hesaplanabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Bilgisayar Destekli Hesaplama, Eğim Bulma, Görüntü işleme, Yüksek Binalar

1.Giriş

Bilgisayar ya da mobil cihazlar yardımıyla görüntülerin analiz edilerek yorumlanması hem zaman hem de maliyet açısından oldukça verimlidir. Ayrıca sonuçlar yüksek doğruluk oranlarına sahiptir. Çünkü insan faktörü bazı hesaplamalarda hatalı sonuçların oluşmasına neden olabilmektedir. Bu yüzden otomatik olarak bazı hesaplamaların, ölçümlerin makineler tarafından gerçekleştirilmesi daha doğru olacaktır.

Görüntü işleme, bilgisayar veya diğer ciharlara yazılım kodları tarafından komutlar verilerek gerçekleştirilebilir. Görüntü işleme yöntemi kullanarak makineler birçok alanda başarılı görevler gerçekleştirilebilir. Yüksek binaların, kulelerin, köprü ayaklarının eğimlerinin takip edilerek gerçek zamanlı kontrolü de görüntü işleme temelinde gerçekleştirilebilir.

Wang vd. (2019) yaptıkları çalışmada, Ultrason görüntüsü elde edilmiş kas dizilimlerinin açısal olarak eğimlerini bulmuşlardır. Elde ettikleri sonuçlar klinik teşhislerde kullanılmıştır.

Liu vd. (2019) yaptıkları çalışmada ortopetik tedavi yöntemlerinde kullanılan harici sabitleme çubuğu arasındaki açıyı görüntü işleme yöntemleriyle yüksek doğruluk, düşük maliyet ve düşük ekipman gereksinimiyle gerçekleştirilmiştir.

Chenguang ve Yueqiang (2013) yaptıkları çalışmada Tünel Kazma makinesinin rehber sistemi için yatay açı ölçümleri görüntü işleme yöntemleriyle gerçekleştirilmiştir. Görüntüler endüstriyel ve laser kamera üzerinden alınmış ve 5 derecelik toleransın olabileceğini göstermiştir.
Yi vd. (2013) yaptıkları çalışmada CCD kamera yardımıyla elde edilen vinç bomunun görüntüleri incelenmiş ve metal bükülme açıları görüntü işleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Günümüzde uydu görüntüleri yorumlanarak yerleşim alanlarının yorumlanması, kaçak yapılaşmanın önüne geçilmesi, tarım alanlarının korunması gerçekleştirilebilmektedir. Adelipour ve Ghassemian (2018) yaptıkları çalışmada, Çok Yüksek Çözünürlüklü Sentetik Açıklıklı Radar(VHR SAR) görüntülerini analiz edilerek, kentsel yapılaşma oranları tespit edilmiştir.

Dünya üzerinde nüfus artışına paralel olarak kentsel alanlar artış göstermektedir. Kentsel alanların artması hızlı ve düzensiz yapılaşma ortaya çıkarmaktadır. Kala ve Jeyakumar (2015) yaptıkları çalışmada, uydu görüntüleri üzerinde Tetra dalgacık yöntemini kullanarak kentsel bina algılama tasarımını gerçekleştirmişlerdir.

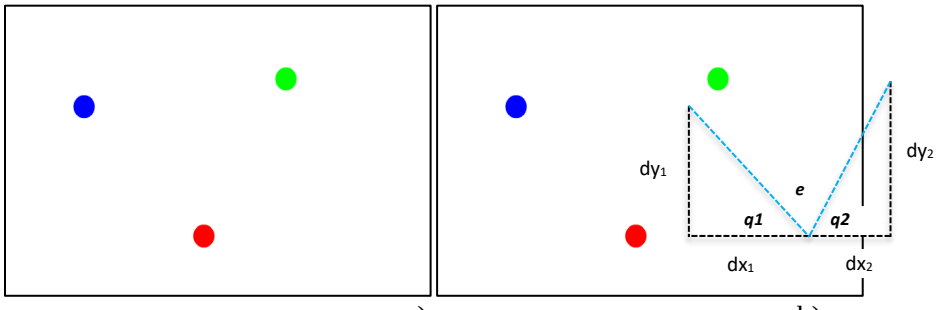
Çelik (2020) yaptığı çalışmada Ray yüzeyini ve ray temas yapısındaki kusurları tespit etmek için piksel satır ve sütün değerleri kullanan bir algoritma geliştirmiştir.

Çelik (2020) yaptığı çalışmada eğik karakterler tanıma başarısını arttırmak için yeni bir algoritma geliştirmiş ve bu algoritmanın harfler üzerinde başarısını test etmiştir.

Yapılan çalışmada, gerçek açı değerlerinin görüntü işleme temelinde ölçümleri gerçekleştirilmiş ve başarı oranları gösterilmiştir. Ayrıca pizza kulesinin eğimi de tasarlanan yazılım tarafından ölçülmüş ve yükse doğrulukta sonuç elde edilmiştir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, kullanılan yöntem de mavi, kırmızı ve yeşil referans noktalarının konumları bulunmuş daha sonra konumlar arasındaki farklardan yola çıkılarak referans noktaların ortasından geçen kenarların uzunluğu bulunmuştur. Kenar uzunları bulunurken, önce mavi referans noktasının kırmızı referans noktasına yatay ve dikey düzlem mesafeleri bulunmuştur. Daha sonda yeşil referans noktasının kırmızı referans noktasına yatay ve dikey mesafeleri bulunmuştur. Üçgen geometrik şekli örnek alınarak, açı hesaplama işlemi tanjant matematiksel ifadesindeki karşı kenar ve komşu kenar ilişkisinden yola çıkılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1 üzerinde referans noktaları gösterilmektedir.



Şekil 1. Referans noktaların görüntü içinde gösterilmesi. a) Rastgele referans noktaları, b)Referans noktalar arası mesafe ve tanjant açı değerleri

Şekil 1 a) görüntü üzerindeki referans noktalarını göstermektedir. Şekil 1 b) ise referans noktaların arasındaki mesafeler ve açılar gösterilmektedir. dy1, mavi referans noktasının kırmızı referans noktasına olan dikey mesafesini, dx1, mavi referans noktasının kırmızı referans noktasına olan yatay mesafesini, dy2, yeşil referans noktasının kırmızı referans noktasına olan dikey mesafesini, dx2, yeşil referans

noktasının kırmızı referans noktasına olan yatay mesafesini göstermektedir. q1 açısının hesaplanması denklem 1 üzerinde gösterilmektedir.

q1=tanjant(dy1/dx1)

q1 açısı mavi ve kırmızı referans noktalarından geçen doğrunun eğimini göstermektedir. q2 açısının hesaplaması denklem 2 üzerinde gösterilmektedir.

q2=tanjant(dy2/dx2)

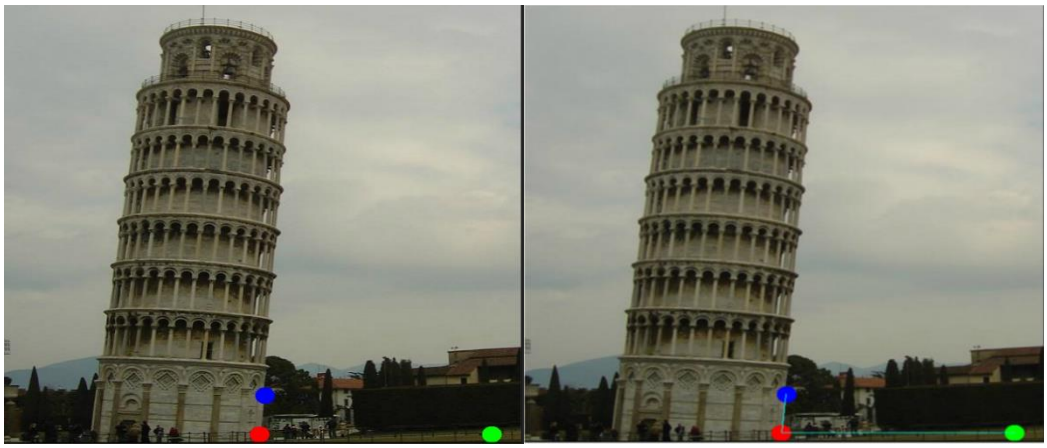
q2 açısı yeşil ve kırmızı referans noktalarından geçen doğrunun eğimini göstermektedir. e açısının hesaplanması ise denklem 3 de gösterilmektedir.

e =180-(q1+q2)

e açısı, mavi yeşil referans noktalarından geçen ve kırmızı referans noktasında kesişen iki doğrunun arasındaki açıyı göstermektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada önerilen yöntemin gerçek görüntüleri üzerinde uygulanmıştır. İlk olarak dünyaca ünlü pizza kulesi görüntüsü analiz edilerek eğimi hesaplanmıştır. Pizza kulesinin 5,5 derecelik bir eğime sahip olduğu bilinmektedir. Şekil 2 üzerinde kule görüntüsünde belirlenen referans noktaları gösterilmektedir.



a) b)

Şekil 2. Pizza kulesi ve referans noktalar a)Referans noktaların belirlenmesi b)Referans noktalarından geçen ve kırmızı referans noktasında kesişen doğrular

Şekil 2 a) üzerinde görüntüdeki referans noktaları, şekil 2 b) üzerinde ise yazılım tarafından referans noktalarından geçen doğrular tespit edilmiştir. Tasarlanan yazılım tarafından kırmızı referans noktasından geçen doğruların arasındaki açı 84,610 bulunarak yani eğim 5,389 elde edilmiştir. Hata oranı görüntünün edildiği konuma göre değişmektedir.

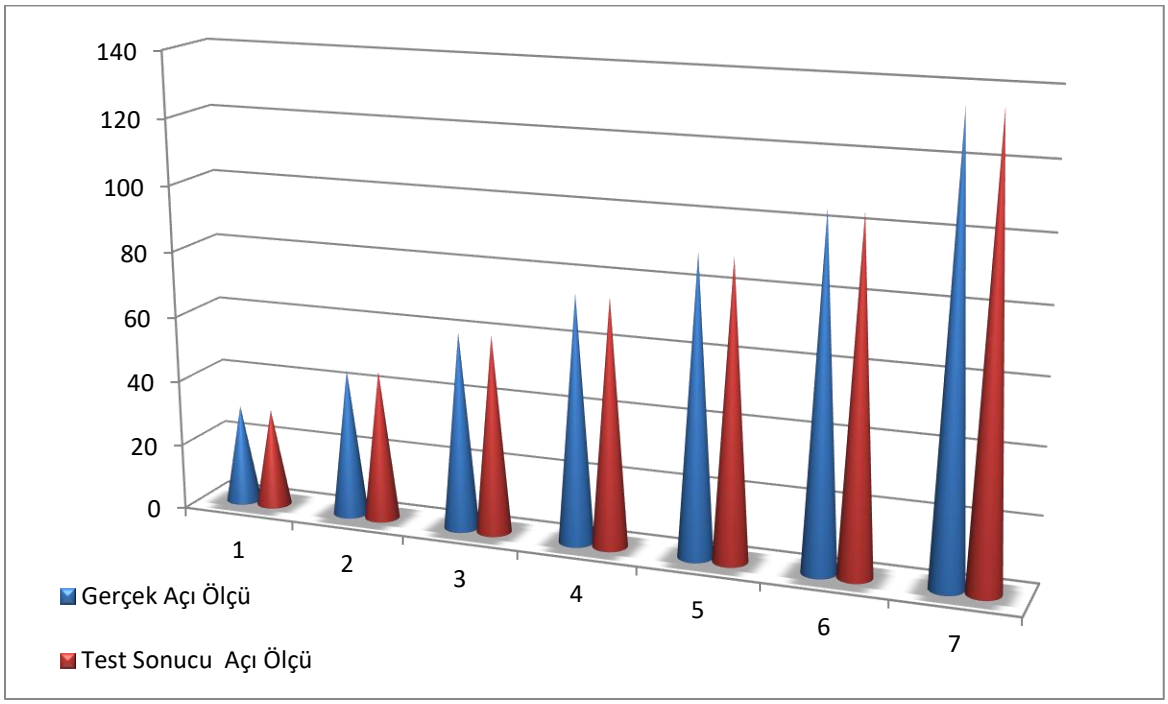
Tasarlanan yazılımın, farklı açı oranlarına göre başarı oranları tablo 1 de gösterilmektedir. Çalışmada görüntü üzerindeki 30, 45, 60, 75, 90, 105 ve 135 derecelik ölçümlerin testleri gerçekleştirilmiştir. Bu sonuçlara göre, en yüksek başarı %99,940 ile 105 derecelik açının ölçümüyle, en düşük başarı oranı ise 98,540 ile 45 derecelik açının ölçümüyle gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Gerçek açı değerleri görüntü işleme tekniği ile test edildiğinde elde edilen başarı performansları

Sıra	Gerçek Açı Ölçüsü	Test Ölçüsü	Sonucu Açı	Performans(%)

1	30	29,814	99,380
2	45	45,664	98,524
3	60	60,108	99,820
4	75	74,842	99,789
5	90	89,64	99,600
6	105	104,937	99,940
7	135	135,339	99,749

Tablo 1 den elde edilen sonuçlara göre şekil 3 deki grafik elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, en yüksek hatalı ölçümün 0,664 derece olduğu, en düşük hatalı ölçümün ise 0,063 derece olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Elde edilen sonuçların başarı performans grafiği

4. Sonuçlar

Bu çalışmada görüntü işleme yönteminin inşaat alanında yüksek binaların eğimlerinin hesaplanması kullanılabileceği gösterilmiştir. Yüksek binaların belirli zaman aralıklarında eğimlerinin kontrol edilmesi de gerekmektedir. Çünkü zamanla zemin hareketlerinden veya inşaat yapı hatalarından dolayı bazı yönlere eğiklikler gerçekleşebilmektedir.

Bu çalışmada kullanılan pizza kulesi örneğinde zemin hareketi sebebiyle oluşan eğiklik görüntü işleme tekniği ile de ölçülmüş ve 5,389 derece bulunmuştur. Gerçek eğim değerinin 5,5 derece olduğu söylenmektedir. Aradaki fark görüntünün elde edildiği konumdan veya kamera açısında kaynaklanıyor olabilir. Eğimi bulunacak yapının görüntüsü elde edilirken kullanılan kameranın tam yatay düzlem de bulunması gerekmektedir. Eğer yapının takibi devamlı yapılacaksa hep aynı konumun seçilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmada, ayrıca 30, 45, 60, 75, 90, 105 ve 135 derecelik eğimlerin ölçümleri, tasarlanan yazılım tarafından gerçekleştirilmiş ve başarı oranları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre hata oranlarını %1 'in altında olduğu görülmüştür. Bu çalışma, görüntü işleme tekniklerinin yapıların eğimlerini bulmada

ve takip edilmede kullanılabileceğini göstermektedir. Bu çalışma temel alınarak örnek sayısının arttırılabileceği öngörülmektedir.

Kaynaklar

Adelipour S. and Ghassemian, H (2018). The Fusion of Morphological and Contextual Information for Building Detection from Very High-Resolution SAR Images. *Iranian Conference Electrical Engineering (ICEE)* (pp. 389-393), doi: 10.1109/ICEE.2018.8472581.

Çelik, A (2020). Demiryolu Ray ve Kusurlarını Tespit Etmek İçin Geliştirilen İki Yeni Yöntem. *Demiryolu Mühendisliği*. 52-63. doi:10.47072/demiryolu.737624.

Çelik, A (2021). Eğik Karakter Tanıma Başarısını Arttırmak için Yeni Bir Yöntemin Kullanılması. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi,* 6 (1), 1-11. doi: 10.46578/humder.720001.

Chenguang W. and Yueqiang, L (2013). The Horizontal angle measurement of TBM guidance system. *Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC)* (pp. 605-608), doi:10.1109/MEC.2013.6885135.

Kala S. and Jeyakumar, M. K (2015). An efficient approach for satellite image building detection based on Tetra wavelet. *2015 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT)*. (pp. 840-844), doi: 10.1109/ICCICCT.2015.7475396.

Liu, K., Nagamune K. and Oe, K (2019). Angle Measurement of Two Rods in External Fixation Bracket Based on Image Processing. *2019 1st International Conference on Electrical, Control and Instrumentation Engineering (ICECIE)* (pp. 1-6). doi:10.1109/ICECIE47765.2019.8974750.

Wang, X., Zhao, X. F., Liu, C., Guo F. and Guo, J(2019). Automatic Detection and Pennation Angle Measurement of Muscle Fascicles in Ultrasound Images Using Belt Linear Summation Transform. in *IEEE Access*, 7, 174391-174399, doi:10.1109/ACCESS.2019.2957123.

Yi, Z., Hao L. and Ling, F(2013). The Measurement for Sheet Metal Bending Angle of Crane Boom Based on Image Processing. *2013 Third International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control* (pp. 38-41), doi:10.1109/IMCCC.2013.16.

Özellik Seçiminde Kullanılan Kolektif Yaklaşımın Müşteri Kayıp Analizinde Oluşturulan Model Performansına Etkisi

Mustafa Özgür CİNGİZ *[1,a]

[1]*Bursa Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, 16310, Bursa*

Öz

Müşteri kayıp analizi firmaların müşterilerini kaybetmemeleri adına müşterilerini koruma ve firmaya olan bağlılığını ölçmek için gerçekleştirilen analiz türüdür. Çalışmamızda bir telekomünikasyon firmasında bulunan 7043 müşteriye ait veriler kullanılarak makine öğrenmesi algoritmalarıyla, Karar Ağacı, Rastsal Ormanlar, Destek Vektör Makineleri, Naive Bayes ve K En Yakın Komşuluk, model oluşturulmuş ve algoritmaların performansları değerlendirilmiştir. Makine öğrenmesi algoritmalarıyla oluşturulan modelleri sınıf etiketleri olarak kaybedilen kullanıcı ve kaybedilmeyen kullanıcı etiketlerini kullanarak ikili bir sınıflandırma gerçekleştirmiştir. Müşteri kayıp analizinde bir diğer önemli konu ise özellik seçim yaklaşımlarına göre hangi özelliğin sınıf etiketini belirlediğinin araştırılmasıdır. Çalışmamızda özellik seçim yaklaşımları olarak Ki-Kare İstatistiği, Bilgi Kazanımı ve Korelasyon Katsayısı olarak üç özellik seçimi yaklaşımı kullanılmıştır. Sınıflandırma aşamasından özellik seçimi uygulanmamış ham veri ve üç farklı özellik seçimiyle elde edilmiş 10 özellikten oluşan veri kümeleri ile sınıflandırılma gerçekleşmiştir. Çalışmamızda aynı zamanda üç farklı özellik seçim yaklaşımın her bir özellik seçim belirlediği özellik değerlerinin z-skor değerleri birleştirilerek kolektif bir yaklaşımla oluşturulmuş en önemli on özellik ile sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Buna göre müşteri kayıp analizinde önemli özelliklerin keşfi, verilerin sınıflandırıcılarla modellenmesi ve kolektif (hibrit) yaklaşımla oluşturulmuş özelliklerle veri kümesinin modellemesini gerçekleştirmiştir. Çalışmamızda en önemli üç özellik üç farklı özellik seçim yaklaşımına göre: sözleşme süresi, üyelik süresi ve çevrim içi güvenlik özellikleri olarak belirlenmiştir. K katmanlı çapraz doğrulama ile elde edilen en yüksek F- ölçüt değeri ise 0.785 hibrit yaklaşım özellik seçimi ve Karar Ağacı sınıflandırıcısı kullanılarak elde edilmiştir. Özellik seçim yaklaşımlarında belirlenen en önemli özellikler çoğunlukla aynı özellikler olarak elde edilmiştir. Özellik seçim yaklaşımlarıyla özellik sayısı azaltmanın sınıflandırma performansını genel anlamda düşürmediği gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Kolektif Birleştirme, Özellik Seçimi, Sınıflandırma, Müşteri Kayıp Analizi

1. Giriş

Müşteri kayıp analizi (MKA) özellikle finans, sigorta ve telekomünikasyon firmaları olmak üzere rekabet halindeki tüm firmaların müşterilerinin analizini yapabilmeleri açısından büyük önem taşımaktadır (Ullah vd., 2019; Huang vd.,2012). Müşterilerinin özelliklerine göre firmayla olan müşteri-firma ilişkisinin devam süresi, müşteri aidiyetini etkileyen en önemli faktörlerin belirlenmesi, müşterilere yeni kampanyaların önerilmesi, müşterilerin firmadan ayrılma olasılığının belirlenmesi gibi önemli konular müşteri kayıp analizi ile gerçekleştirilebilmektedir (Ahn vd., 2020). Firmalar MKA ile olası müşteri kaybını önceden planlayarak müşterilerine aboneliklerinin devam etmeleri konusunda önlem almayı planlamaktadır.

Müşteri İlişkileri Yönetimi (MİY, Customer Relationship Management) satış, pazarlama, tedarik zinciri, müşteri ilişkileri gibi alanlarda verimliliği arttırmak için kullanılan iş yönetim metodudur. MİY işletmeye ait tüm süreçleri ve bu süreçlerin müşterilerle ilişkisini inceler. Analitik MİY müşterilerin davranış ve özelliklerini içeren farklı veri tabanlarını kullanarak analizler yapmaktadır (Jadhav vd., 2011). Firmalar bu verileri kullanarak yeni müşterilerin elde edilmesi, elde tutulması, müşterilerin firmaya katkısına göre sınıflandırılması gibi farklı işlemler gerçekleştirebilmektedir ve bu analizlerin hepsi MİY'de önemli analiz konuları arasında yer alır. Bu analizlere göre müşterilere yeni tarifler sunulması, müşteriye özel kampanyaların planlanması, taahhüt süresinin sonuna gelmek üzere olan müşterilerin

bilgilendirilmesi, müşterilerin önem verdiği katma değer servislerinin sunulması gibi planlamaların yapılması MİY için önemlidir. Abonelikten çıkan müşterinin yerine yeni bir abonenin kazanılması işlemi mevcut müşteriyi elde tutmaktan çok daha masraflı bir süreçtir (Vafeiadis vd., 2015). Firma abonelerine MKA analizine göre önemli görülen özellikleri göz önünde alarak müşterilerin abonelikten çıkma olasılıklarını modelleyerek müşteri kaybını önleyip masraflarını azaltabilmektedir.

Veri madenciliği ve makine öğrenmesi algoritmaları MKA'da sıklıkla kullanılan yöntemlerdir. Yapay Sinir Ağları (Wei vd., 2002; Tsai vd., 2009; De Caigny, 2020), Karar Ağaçları (Shaaban vb., 2012; Jain vd., 2020), Doğrusal Regresyon Analizi (Hadden vd., 2006), Lojistik Regresyon (De Caigny, 2018; Jain vd., 2020), Destek Karar Makineleri (Shaaban vb., 2012), Naive Bayes (Kirui vd.,2013), Market Sepeti Analizi (Farquad vd.,2014) gibi algoritmalarla veriler modellenerek müşterilerin bağlılığı konusunda modeller oluşturulmuştur. Son yıllarda büyük veriler üzerinde modelleme başarısı yüksek olan derin öğrenme algoritmaları da MKA'da sıklıkla kullanılmaktadır (Umayaparvathi vd., 2017). Derin öğrenme yaklaşımlarının veri kümelerinden başarılı uygulanabilmesi için çok sayıda veriye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle çalışmamızdaki veri sayısı göz önüne alınarak derin öğrenme algoritmaları tercih edilmemiştir.

Çalışmamızda incelediğimiz telekomünikasyon alanında kullanıcıların firmalar arasında geçişi sıklıkla gerçekleştirdiği alanlardan biridir. Telekomünikasyon alanında kullanıcıların abonelik süreleri ve abonelik sürecinin sonuna kalan sürelere göre firma değişikliği eğilim analizi MKA'deki önemli alt başlıklardandır. Çalışmamızda IBM Watson Telco MKA veri kümesi kullanılmıştır. Müşterilerin aboneliklerinin devamlılığı veya abonelikten çıkmasına neden olan önemli özelliklerin farklı özellik seçim yaklaşımlarına göre belirlenmesi çalışmamızın ilk amacıdır. İkinci olarak üç farklı özellik seçim algoritmasına göre belirlenen özellikler hibrit bir yapıda seçilerek hibrit özellik seçimi gerçekleştirilmiştir. Hibrit ve üç farklı özellik seçimi kullanılarak ortak belirlenen özelliklerin MKA'daki etkileri ayrı ayrı belirlenmiştir. İlk aşamada gerçekleştirilen özellik seçim yaklaşımları sonucunda elde edilen özellikler ve bu özellikler kullanılarak belirlenen hibrit özelliklerle sınıflandırma yapılarak performansları karşılaştırılmıştır. Bununla birlikte hibrit özellik yaklaşımın sınıflandırmadaki performans etkisi de çalışmamızda incelenmiştir. Sınıflandırıcı olarak ise Karar Ağacı, Rastsal Ormanlar, Destek Vektör Makineleri, Naive Bayes ve k En Yakın Komşuluk algoritmaları kullanılarak özellik seçimlerinin performans değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Beş farklı sınıflandırıcının sonuçları da ayrıca çalışmamız kapsamında karşılaştırılmıştır.

Çalışmamızda ikinci bölümde kullanılan veri kümesi, özellik seçim yaklaşımları ve sınıflandırıcılar anlatılmıştır. Üçüncü bölümde elde edilen sonuçlar gösterilmiş ve karşılaştırılmıştır. Son bölümde ise özellik seçim yaklaşımları, hibrit özellik seçimi, elde edilen önemli özelliklerin MKA'da değerlendirilmesi, sınıflandırıcı performanslarına özellik seçim yaklaşımlarının etkisi incelenmiştir ve çalışmamız sonuçlandırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Veri Kümesi

IBM Watson Telco veri kümesi IBM' in web sayfasında bulunan herkese açık bir veri kümesidir. IBM Watson Telco veri kümesi 7043 müşteri ve bu müşterilere ait 21 özellik içermektedir. 7043 benzersiz kayıttan oluşan veri kümesine ait veriler iki sınıftan oluşmaktadır. İlk sınıfta 5174 müşteri firmadaki müşteri olma durumunu devam ettirmektedir. İkinci sınıfta ise 1869 müşteri firmadan ayrılmıştır. Veri kümesinin özellikleri açıklamaları ve aldıkları değerler ile Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. IBM Watson Telco Veri Kümesi Özellikleri ve Özellik Açıklamaları

Özellik Adı	**Özellik Açıklaması**	**Değer**
Customer ID	Müşteri Numarası	Nümerik
Gender	Müşteri Cinsiyet	Male/Female
Senior Citizen	Kıdemli/Yaşlı Müşteri	0/1

Partner	Müşterinin Ortağı Olma Durumu	Yes/No
Dependents	Müşterinin Sorumlu Olduğu Kimse	Yes/No
Tenure	Müşteri Kaç Aydır Firmanın Abonesi	Nümerik
Phone Service	Müşterinin Telefon Servisinin Olması	Yes/No
Multiple Lines	Müşterinin Çoklu Hattı Sahipliği	No Phone Service/No/Yes
Internet Service	Müşterinin İnternet Servisi	DSL/Optic/No
Online Security	Müşterini Çevrimiçi Güvenliği	Yes/No/No internet service
Online Backup	Müşterinin Çevrimiçi Yedeği	Yes/No/No internet service
Device Protection	Müşterini Cihaz Koruması	Yes/No/No internet service
TechSupport	Müşterinin Teknolojik Destek Alması	Yes/No/No internet service
StreamingTv	Müşterinin İnternet TV Durumu	Yes/No/No internet service
StreamingMovies	Müşterinin İnternetten Film İzlemesi	Yes/No/No internet service
Contract	Müşteri Kontratı	Month-to-month, One year,Two year
PaperlessBilling	Kağıtsız Faturalandırma	Yes/No
PaymentMethod	Ödeme Metodu	Electornic Check, Mailed Check, Bank transfer, Credit card
MonthlyCharges	Müşterinin Aylık Ödediği Tutar	Nümerik
TotalCharges	Müşterinin Toplam Ödediği Tutar	Nümerik
Churn	Müşterinin Abonelikten Ayrılması	Yes/ No

Tablo 1'de yer alan Churn özelliği sınıflandırmada sınıf bilgisini göstermektedir. Çalışmamızda her bir müşteri eşsiz/tek olduğu için müşteri numaralarının kullanılmasının özellik belirlemede anlamlı olmaması nedeniyle CustomerID özelliği de veri kümesi üzerindeki analizlerde kullanılmamıştır ve bu özellikler veri kümesinden çıkarılmıştır.

2.2. Özellik Seçimi Yaklaşımları

Çalışmamızda özellik seçim yaklaşımları olarak Ki-Kare İstastiği, Korelasyon Katsayısı ve Bilgi Kazanımı kullanılmıştır.

2.2.1. Ki-Kare İstatistiği Tabanlı Özellik Seçimi

Ki-kare istatistiği yaklaşımı filtre tabanlı bir yaklaşım olup özelliklerin sınıf belirme gücü özellikler tek başlarına ele alınarak hesaplanır. Ki- kare istatistiği değeri yüksek olan özellik sınıf etiketi belirlemede önemli bir özellik olarak belirlenir. Ki-kare istatistik değeri serbestlik derecesine göre oluşturulmuş eşik değerinden küçükse bu özellik sınıf belirlemede önemli bir özellik olarak değerlendirilmez ve özellik uzayından elenir. Denklem 1'de X özelliğinin C_{churn} sınıfına göre Ki-kare değerinin hesaplama formülü gösterilmiştir.

$$\text{Ki-kare istatistiği } (X, C_{churn}) = \frac{N.(P(X,C_{churn}).\ P(\neg X,C_{\neg churn}) - P(X,C_{\neg churn}).\ P(\neg X,C_{churn})\ )}{P(X).P(\neg X).P(C_{churn}).P(C_{\neg churn})} \quad (1)$$

X özelliğinin müşteri ayrıldığında olma olasılığı $P(X, C_{churn})$, X özelliğinin müşteri ayrılmadığında olmama olasılığı $P(\neg X, C_{\neg churn})$, X özelliğinin müşteri ayrılmadığında olma olasılığı $P(X, C_{\neg churn})$, X özelliğinin müşteri ayrıldığında olmama olasılığı $P(\neg X, C_{churn})$ şeklinde gösterilmiştir. Bununla birlikte örnek sayısı N harfiyle, X özelliğinin olma ve olmama olasılıkları P(X) ve P(¬X) ile Denklem 1'de gösterilmiştir. Müşterinin firmadan ayrılma ve ayrılmama olasılıkları ise $P(C_{churn})$ ve $P(C\neg_{churn})$ ile gösterilmiştir.

Ki-kare istatistik değerinin büyük olması MKA için ilgili özelliğin önemli olduğunu göstermektedir.

2.2.2. Korelasyon Katsayısı Tabanlı Özellik Seçimi

Korelasyon katsayısı özellik seçim yöntemi özellik- sınıf, özellik- özellik korelasyon katsayı değerlerini kullanarak özelliklerin önem değerini belirlemektedir. Yüksek korelasyon katsayı değerine sahip özellikler MKA için önem taşımaktadır. Korelasyon katsayısı yaklaşımı sınıflandırmayla ilişkili ama birbirleriyle ilişkisiz önemli özellikleri içeren özellik alt kümesini bulmaya çalışmaktadır. Denklem 2'de k adet özelliğinin korelasyon katsayısının hesaplama formülü gösterilmiştir.

$$KK(s_k)=\frac{k.ortalama\ (r_{cf})}{\sqrt[2]{k+k(k-1).ortalama(r_{ff})}} \quad (2)$$

Önemli özelliklerden oluşan alt küme elemanının sayısı k olarak Denklem 2'de gösterilmiştir. Denklem 2'deki r_{cf} değeri k adet özellik ve sınıfın korelasyon değerini, r_{ff} değeri k adet özelliğin birbiriyle olan korelasyon değerini göstermekte ve bu iki değerinde ortalaması alınarak k adet özelliğin korelasyon katsayı değeri hesaplanmıştır.

2.2.3.Bilgi Edinimi Tabanlı Özellik Seçimi

Kullandığımız üçüncü özellik seçim yaklaşımı Bilgi Kazanımı'dır. Bilgi Kazanımı tabanlı özellik seçim tekniği bir filtre tabanlı özellik seçim yaklaşımıdır. Özelliklerin sınıf etiketini belirlemedeki belirsizlik gideriminin değerine bakılarak hesaplanmaktadır. Denklem 3'te *X* özelliğinin C_{churn} sınıfına göre Bilgi Kazanımı değerinin hesaplama formülü gösterilmiştir. Bilgi Kazanımı ile özelliğin bulunması veya bulunmama durumunun bilinmesiyle veri kümesine ait belirsizliğin ne ölçüde değiştiği belirlenmektedir.

$$BE(Veri,X)= Entropy(Veri)- Entropy(Veri \mid X) \quad (3)$$

Bir özellik sistemin belirsizliği azaltıyorsa bu özellik MKA'da önemli bir özellik olarak alınmaktadır.

2.2.4.Hibrit Özellik Seçimi

Ki-Kare İstastiği, Korelasyon Katsayısı ve Bilgi Kazanımı özellik seçim yöntemleriyle elde edilmiş özelliklerin skorlarına bakarak skor değeri Denklem 4 ile z değeri dönüşümü gerçekleştirilmiştir.

$$\text{z- değeri}=\frac{\text{X– Özellik Seçim Yaklaşım Değerlerinin Ortalaması}}{\text{Özellik Seçim Yaklaşım Değerlerinin Standart Sapması}} \quad (4)$$

Özelliklerin her bir yöntemdeki skorlarının z- değerleri toplanarak üç özellik seçim yaklaşımının sonuçları birbirlerine entegre edilmiş. Üç farklı özellik seçimi tekniğinden elde edilen skorlar z-değerine dönüştürülüp toplandıktan sonra z-değeri sıfırdan küçük olan özellikler önemsiz özellikler olarak belirlenip elenmiştir.

2.3. Sınıflandırma Algoritmaları

Çalışmamızda sınıflandırıcı olarak ise Karar Ağacı, Rastgele Ormanlar, Destek Vektör Makineleri, Naive Bayes ve k En Yakın Komşuluk algoritmaları kullanılmıştır.

2.3.1.Karar Ağacı (J48)

Karar Ağacı ağaç yapısında olan bir kural tabanlı sınıflandırıcıdır. Ağaç üzerindeki düğümler özellikleri, dallar kuralları ve yapraklar etiket değerlerini göstermektedir. Bir akış diyagramı benzeri oluşturulan ağaç yapısında özelliklerin ağaç üzerindeki yerleri entropi, GINI indeks gibi farklı özellik değerlendirme yaklaşımlarıyla belirlenmektedir. Bir özelliğin sınıf etiketi belirleme gücü yukarıdaki özellik değerlendirme yaklaşımlarına göre yüksekse bu özellik kök düğüme yakın bir seviyede ağaç üzerinde kendine yer alır. Kök düğüm sınıflandırmada ayırt ediciliği en yüksek özelliği temsil eder. Karar Ağaçları kural tabanlı yaklaşımlar olmakla birlikte aşırı öğrenmeye (overfitting) yatkın algoritmalarıdır. Bu nedenle sınıflandırıcı olarak daha genel bir ağaç oluşturma ve karar ağacının budanarak (pruning) sadeleştirilmesi gerekmektedir.

2.3.2.Rastgele Ormanlar

Rastgele Ormanlar birden fazla karar ağacının oluşturduğu bir kolektif öğrenme tabanlı sınıflandırıcıdır. Ham veri kümesinden veriler rastsal olarak, tekrarlı veriler kapsayacak şekilde, veri sayısına eşit şekilde elde seçilerek yeni örneklemler oluşturulur (bagging). Kullanıcı tarafından belirlenen *N* kadar ağaç her bir rastsal olarak orijinal veri kümesi kullanılarak oluşturulmuş veri üzerinde eğitilir ve kendi karar sınırlarını Karar Ağacı ile oluşturur. Yeni bir test verisi geldiğinde tüm ağaçların belirlediği sınıf etiket değerine göre en fazla oy alan (majority voting) sınıfa ait olan sınıf etiketi test verisinin sınıfı olarak atanır.

2.3.3.Naive Bayes

Naive Bayes özelliklerin birbirinden bağımsız olduğu varsayımında bulunan Bayes Teoremi tabanlı bir sınıflandırıcıdır. Her bir özelliğin değerinin bir sınıfa ait olma olasılığı sayma yaklaşımıyla o özelliğe ait veri sayısının tüm veri sayısına oranıyla bulunur Bu tüm özellikler için belirlendikten sonra yeni bir veri sınıflandırılacağı zaman veriye ait özellik değerlerinin ait olabileceği sınıf etiketi test verisindeki değerlerin olasılık değerlerinin çarpımının maksimumunu veren etiket değeri olarak bulunur.

2.3.4.Destek Vektör Makineleri

Destek Vektör Makineleri sınıflara ait verileri karar sınırlarıyla sınıflandıran bir sınıflandırıcıdır. Doğrusal Destek Vektör Makinelerinde karar sınırları olarak hiperdüzlemler kullanılmaktadır. Hiperdüzlem denklemleri sadece sınıflara ait sınır düzleminin üzerindeki destek vektörler kullanılarak oluşturulmaktadır. Hiperdüzlemler sınıflara ait sınır düzlemine maksimum uzaklıkta olmalıdır.Hiperdüzlemlerle birbirlerinden doğrusal olarak ayrılamayan sınıflara ait veriler farklı çekirdek fonksiyonlarıyla doğrusal olarak ayrılabilecekleri özellik uzaylarına dönüştürülür. Çalışmamızda Doğrusal Destek Vektör Makineleri kullanılmıştır.

2.3.5.k En Yakın Komşuluk

K En Yakın Komşuluk sınıflandırıcısı test verilerinin eğitim kümesinde sınıf etiketi bilinen tüm verilere olan uzaklarını L1, L2 normları gibi farklı uzaklık ölçümlerinden birine göre belirler. Daha sonra test verisine en yakın *k* adet verinin sınıf etiketlerine bakarak en çok komşu veriye ait sınıf etiketini kendi etiketi olarak belirler. Bu algoritmanın en önemli problemlerinden birisi gürültü verileri barındıran veri kümelerinde doğruluğu azdır. Bununla birlikte *k* sayısı tek seçilerek eşit sayıda sınıf etiketiyle karşılaşma durumu k En Yakın Komşuluk algoritmasında elenmiş olur. Çalışmamızda en yakın üç komşu değerlendirerek sınıflandırma gerçekleştirilmiştir.

2.4. Sınıflandırma Değerlendirme Metrikleri

Gerçekte sınıf etiketi *Churn- Yes* olan veriyi *Churn- Yes* olarak sınıflandırıcı sınıflandırırsa *Doğru Pozitif (DP), Churn- No* olarak sınıflandırırsa *Yanlış Negatif (YN)* olarak belirlenmektedir. Gerçekte sınıf etiketi *Churn- No* olan veriyi *Churn- Yes* olarak sınıflandırıcı sınıflandırırsa *Yanlış Pozitif (YP)* olarak belirlenmiş olur. Bu üç metriği kullanarak kesinlik, anma ve bu iki değerin harmonik ortalaması olan F-ölçek değeri sınıflandırıcıların performans değerlendirmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmamızda k- Katmanlı Çapraz Doğrulama yöntemine göre eğitim ve test işlemi gerçekleştirilmiş ve k sayısı 10 olarak alınmıştır.

$$\text{Kesinlik} = DP / (DP+YP) \quad (5)$$

$$\text{Anma} = DP / (DP+YN) \quad (6)$$

$$\text{F-Ölçeği} = \frac{2 * Kesinlik * Anma}{Kesinlik + Anma} \quad (7)$$

F-ölçeğinin bire yakın olması sınıflandırma başarısının yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışmamızda kullandığımız veri kümesi homojen bir veri kümesi olmaması nedeniyle sadece doğruluk metriğine göre değerlendirmek sınıflandırma performansı değerlendirmede hataya yol açacağı için F-ölçüt değeri kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmamızda temel amacı MKA'daki önemli özelliklerin üç farklı özellik seçimine göre belirlenmesi ve bu üç özellik seçimine göre hibrit yaklaşımla elde edilmiş özelliklerin ortaya çıkarılmasıdır. Çalışmamızın bir diğer amacı da özellik seçim yaklaşımlarıyla elde edilen dört farklı özellik kümesinin ve ham verilerin performansı değerlendirilmesidir. Beş farklı sınıflandırıcının MKA verileri üzerinden sınıflandırma performansları da çalışmamızda karşılaştırılmıştır.

Özellik seçim yaklaşımları olarak Ki-Kare İstastiği, Korelasyon Katsayısı ve Bilgi Kazanımı yaklaşımlarından elde edilen değerlerin ve bu değerlerin z- değerlerine çevrilmiş değerleri Tablo 2'de gösterilmiştir.

Tablo 2. IBM Watson Telco Veri Kümesi Özelliklerinin Üç Özellik Seçim Yöntemine Ait Ham ve Z-Dönüşüm Değerleri

Özellikler	**Bilgi Kazanımı**	**Z değeri**	**Ki-Kare İstatistiği**	**Z değeri**	**Korelasyon Katsayısı**	**Z değeri**
Contract	0.14	**2.27**	1066	**2.00**	0.35	**1.87**
Tenure	0.11	**1.4**	930	**1.57**	0.33	**1.6736**
Online Security	0.093	**1.01**	765	**1.05**	0.269	**0.9895**
Tech Support	0.091	**0.96**	745	**0.99**	0.263	**0.9254**
Internet Service	0.08	**0.686**	659	**0.72**	0.227	**0.5406**
Online Backup	0.068	**0.37**	541	**0.34**	0.195	**0.1985**
Payment Method	0.064	**0.27**	583	**0.48**	0.177	**0.006**
Device Protection	0.063	**0.25**	502	**0.22**	0.183	**0.07**
Monthly Charges	0.063	**0.250**	501	**0.22**	0.193	**0.17**
Total Charges	0.054	**0.02**	508	**0.24**	0.199	**0.241**
Streaming Movies	0.046	-0.184	338	-0.2	0.125	-0.54
Streaming TV	0.046	-0.184	336	-0.2	0.125	-0.54
Paperless Billing	0.028	-0.645	233	-0.6	0.192	**0.1665**
Dependents	0.021	-0.824	170	-0.8	0.163	-0.143
Partner	0.017	-0.92	143	-0.9	0.15	-0.282
Senior Citizen	0.015	-0.97	144	-0.9	0.151	-0.2717
Multiple Lines	0.01	-1.10	10	-1.3	0.034	-1.522
Phone Service	0	-1.362	1	-1.3	0.012	-1.757
Gender	0	-1.362	0	-1.3	0.009	-1.789

Tablo 2'de özelliklerin Bilgi Kazanımı değerlerinin z- skor dönüşüm ortalaması 0.0532 ve standart sapması 0.039'dur. Özelliklerin Ki-Kare İstastistiği değerlerinin z- skor dönüşüm ortalamaları 0 ve standart sapması 1'dir. Korelasyon Katsayısı değerlerinin z- skor dönüşüm ortalamaları 0.1764 ve standart sapması 0.0935'tir.Tablo 2'de en yüksek üç özellik seçimi içinde z-skor değeri sıfırdan büyük olan ve sınıf belirleyiciği yüksek olan özellikler koyu yazımla gösterilmiştir. Bilgi Kazanımı için önemli olan özellikler olan Contract, Tenure, Online Security, Tech Support, Internet Service, Online Backup, Payment Method, Device Protection, Monthly Charges ve Total Charges özellikleri aynı şekilde Ki-Kare İstatistiği yaklaşımına göre de belirlenmiştir. Bu özelliklere ek olarak Korelasyon Katsayısı farklı olarak z- değerine göre Paperless Billing özelliği de önemli özellik olarak belirlenmiştir. Özellikle Contract, müşterinin kontrat süresi, Tenure , müşterinin kaç aydır firmanın abonesi olduğu bilgisi, Online Security, müşterinin çevrimiçi güvenlik bilgileri, her üç yaklaşımda da sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte Tech Support,teknik destek ve Online Security, müşterinin internet servisi tipi, ise z-değerleri her üç özellik seçim yaklaşımında da yüksek çıkmıştır. Tablo 2'ye göre seçilen özelliklerin birbiriyle çok büyük oranda örtüştüğü ve sadece sıralamalarında küçük farklılıklar olduğu gözlemlenmiştir.

Hibrit özellik seçim yaklaşımı Tablo 2'de yer alan özellik çıkarım yöntemlerinin z- değerini toplayarak her bir özelliğin toplam z- değeri elde etmektedir. Buna göre Tablo 3'te hibrit yaklaşımla belirlenen ve toplam z- değeri sıfırdan büyük olan özellikler gösterilmiştir.

Tablo 3. Hibrit Özellik Seçim Yöntemlerine Göre Elde Edilmiş Özellikler ve Z- Dönüşüm Değerleri

Özellik	**Z Değeri**
Contract	6.159035901
Tenure	4.706773635
Online Security	3.066057377
Tech Support	2.887521328
Internet Service	1.949324511
Online Backup	0.927181864
Payment Method	0.765021563
Monthly Charges	0.651387875
Device Protection	0.547658285
Total Charges	0.507139565

Tablo 3'te elde edilen verilere göre Bilgi Kazanımı ve Ki-Kare İstatistiği yaklaşımlarıyla aynı en yüksek değere sahip on özellik elde edildiği gözlemlenmiştir. Hibrit yaklaşımda da beklendiği gibi MKA'da en yüksek ve belirleyici özellikler Contract, Tenure, Online Security, Tech Support ve Internet Service çıkmıştır. Her ne kadar ilk z-değerlerine göre Bilgi Kazanımı, Ki- Kare İstatistiği ve Hibrit yaklaşımın elde ettiği özellikler aynı sırada da çıksa özelliklerin sıralamasında ilk altı özellikten sonra farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin Bilgi Kazanımına göre en önemli yedinci özellik Online Backup iken, Ki-Kare İstatistiğine göre en önemli yedinci özellik Payment Method, Korelasyon Katsayısına göre en önemli yedinci özellik ise Total Charge'dır. Hibrit yaklaşıma göre ise en önemli yedinci özelliğin Payment Method olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuca göre Payment Method özelliği Bilgi Kazanımı ve Korelasyon Katsayısı yaklaşımlarında da önemli olduğu sonucuna varılabilir.

Çalışmamızda dört farklı özellik seçimine göre z- değeri sıfırdan büyük olan özelliklere göre beş farklı sınıflandırıcı kullanılarak sınıflandırma yapılmış ve hem özellik seçim yaklaşımlarının başarısı hem de sınıflandırıcıların başarısı değerlendirilmiştir. Z- değeri sıfırından büyük Bilgi Kazanımı, Ki-Kare İstatistiği ve Hibrit yaklaşımda 10 tane özellik elde edilmişken Korelasyon Katsayısı kullanılarak elde edilen özellik sayısı 11 olarak belirlenmiştir. Özellik seçim yaklaşımlarının eşit değerlendirmesini yapabilmek için Korelasyon Katsayısı ile elde edilen en yüksek değerli 10 tane özellik kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırıcı ve özellik seçim yöntemlerine göre elde edilen F-ölçeği değerleri Tablo 4'te gösterilmiştir.

Tablo 4. Ham ve özellik seçim yöntemleri ile elde edilmiş veriler üzerinde F- ölçeği kullanılarak sınıflandırıcıların performansının değerlendirilmesi

	Tüm Özellikler	Bilgi Kazanımı	Ki-Kare İstatistiği	Korelasyon Katsayısı	Hibrit Yaklaşım
Karar Ağacı	0.772	0.784	0.784	0.772	**0.785**
Rastsal Ormanlar	0.778	0.772	0.772	0.757	0.772
Destek Vektör Makineleri	0.745	0.741	0.741	0.735	0.736
K En Yakın Komşuluk	0.757	0.761	0.761	0.767	0.761
Naive Bayes	0.741	0.75	0.75	0.75	0.75

Tablo 4'te yer alan sonuçlara göre özellik sayısı özellik seçim yaklaşımlarıyla 20'den 10'a indirildiğinde sınıflandırma performansların azalma olmadığı Destek Vektör Makineleri hariç tüm sınıflandırıcıların performansının az özellik ile daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte ilk 10 özellikleri aynı olduğu için Bilgi Kazanımı ve Ki-Kare İstatistiği kullanılarak elde edilmiş veri kümeleri aynı özelliklerden oluştuğu için sınıflandırma performansları da aynı çıkmıştır. Bu iki yaklaşımla elde edilen veriler üzerindeki F- ölçeği değerleri Korelasyon Katsayı uygulanarak elde edilen veriler üzerinde elde edilen F- ölçek değerlerinden yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Üç özellik seçim yöntemiyle belirlenen özellikler birbirleriyle büyük ölçüde örtüştüğü için hibrit özellik seçim modeli ile elde edilen değerler de üç yaklaşımla elde edilen sonuçlara benzer çıksa da, MKA veri kümesi üzerindeki en yüksek değer hibrit özellik seçimi ve Karar Ağacı yaklaşımı kullanılarak elde edilmiştir.

Sınıflandırıcıların performansları karşılaştırıldığı zaman tüm sınıflandırıcıların F- ölçüt değeri birbirine yakın olmakla birlikte en başarılı sınıflandırıcı performansı Karar Ağacı, en başarısız sınıflandırıcı performansı ise Destek Vektör Makineleri kullanılarak elde edilmiştir. Özellik sayısının azalması sınıflandırma performansını düşürmemiş aksine sınıflandırıcılar genelinde performans artışı sağlamıştır.

4. Sonuçlar

Müşteri kayıp analizi firmaların aboneliği olan müşterilerinin aboneliklerinin devam etmesinin sağlanmasında, firmadan aboneliği sonlandıran müşterilerin ortak özelliklerin belirlenmesinde ve müşterilerin firmadan ayrılma riskleri, olasılıklarını değerlendiren Müşteri İlişki Yönetimi'nin önemli bir çalışma alanıdır. Firmaya abone müşterinin firmada abone olarak kalmasının firmaya maliyeti yeni müşteri kazanmasının maliyetinden çok daha düşük olması nedeniyle firmalar için olası abone kaybının yerinin doldurması masraflı bir süreçtir. Çalışmamız kapsamında MKA'nın çok önem taşıdığı telekomünikasyon firmasına ait veriler kullanılarak müşterinin firmadan ayrılma durumu makine öğrenmesi modelleriyle belirlenmeye çalışılmıştır. Müşterilere ait özellik sayısının çok olması ve MKA'da müşteri kayıp tahmininin daha az özellikle modellenmesi özellik uzayının azaltılarak daha az ve önemli özelliklerin ön plana çıkarılmasını sağlamaktadır. Çalışmamızda MKA'da önemli olan özellikler üç farklı özellik seçimi yaklaşımına göre değerlendirilmiştir. Üç farklı yaklaşımdan elde edilen özellikler birleştirilerek hibrit bir özellik seçim modeli oluşturulmuş ve bu özellikler kullanılarak MKA işlemi gerçekleştirilmiştir. Tüm özellik seçim yöntemlerine göre MKA'da altı belirleyici özellikler Contract, Tenure, Online Security, Tech Support, Internet Service ve Online Backup olarak belirlenmiştir. Müşterinin kontrat süresine göre, taahütüne göre, müşterili olma durumunun devamı MKA için önemli olması beklenen özelliklerdir. Müşterinin kontrat süresi uzunsa ve bu kontratında yer alan maddi cezaları ödeme durumunu göze almamak için müşteri aboneliğine devam edecektir. Bir diğer önemli özellik ise

müşterinin abone kalma süresidir. Abone süresi uzadıkça müşterinin firmayı değiştirme yatkınlığının ve firmaya olan bağlılığının artması beklenmektedir. Diğer önemli özellikler ise genellikle firmanın müşterilerine sağladığı çevrim içi güvenlik, teknik destek, internet servisi tipi ve çevrim içi yedeklemeleri gibi servislerle ilgilidir. Özellik seçim yaklaşımlarının önem değerine göre sıralama yapıldığında hibrit yaklaşım ve üç özellik seçim yaklaşımının belirlediği özelliklerin sırasında küçük değişiklikler olmasına rağmen en önemli on özellik büyük oranda aynı özellikler olarak belirlenmiştir.

Çalışmamız kapsamında özellik seçim yaklaşımlarının performansları ve özellik seçiminin MKA modeli üzerindeki etkisi sınıflandırma performans sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. 20 özellik içeren özellik seçimi yapılmamış ham veriler üzerindeki sınıflandırma performansı ile dört farklı özellik seçim yaklaşımı ile ve 10 özellik içeren veri kümesi üzerinde yapılmış sınıflandırma performanslarına bakıldığında özellik seçim yaklaşımlarının sınıflandırma performansını azaltmadığı hatta arttırdığı görülmüştür. Bununla birlikte özellik seçim yaklaşımlarının belirledikleri özellikler genellikle birbiriyle aynı olduğu için sınıflandırma performans değerleri de birbirine yakın çıkmıştır. Hibrit yaklaşımla elde edilen sonuçlar ise diğer üç yöntemle elde edilen özellikler birbirine benzer çıktığı için hibrit yaklaşım sonucu da diğer üç yöntemle elde edilen özelliklere benzer çıkmıştır. Hibrit özellik seçimi ile performansa azalma değil az da olsa artış gözlemlenmiştir. Çalışmamızda ham veri ve farklı özellik seçim yaklaşımlarıyla elde edilmiş veri kümeleri üzerinde sınıflandırıcıların performansları da karşılaştırılmıştır. Elde edilen F- ölçüt değerine göre en başarılı sınıflandırma performansı Karar Ağacı kullanılarak alınmış iken en düşük sınıflandırma performansları ise genellikle Destek Karar Makineleri kullanılarak elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırıldığında (Vafeiadis vd., 2015; Ahn vd., 2020) benzer sınıflandırma performansları elde edilmiştir. Çalışmamızı diğer çalışmalardan ayıran özelliklerden ilki farklı özellik seçim yaklaşımlarının MKA analizine etkisinin üzerinde çok analiz yapılmamış bir konu olmasıdır. Çalışmamızı diğer çalışmalardan ayıran bir diğer önemli husus ise farklı özellik seçim yaklaşımlarıyla elde edilen özelliklerin hibrit bir şekilde birleştirilmesiyle elde edilen özellikleri kullanan çalışma bulunmamasıdır.

İlerideki çalışmalarda daha fazla özellik içeren MKA veri kümeleri üzerinde çalışılması hedeflenmektedir. Çok sayıda özellik içeren veri kümeleri ile özellik seçim yaklaşımlarının sonuçlarının daha farklı olması, bu sonucun hibrit özellik seçim yaklaşımının performans değerlendirmesinin daha doğruluklu ve detaylı analiz edilmesini sağlaması beklenmektedir. Çok sayıda veri içeren MKA veri kümeleri üzerinde başarılı sonuçlar vermesi beklenilen derin öğrenme algoritmalarının da kullanılması ileride hedeflenmektedir.

Kaynaklar

Ahn, J., Hwang, J., Kim, D., Choi, H. ve Kang, S. (2020). A Survey on Churn Analysis in Various Business Domains. *IEEE Access*, 8, 220816-220839.

De Caigny, A., Coussement, K. ve De Bock, K. W. (2018). A new hybrid classification algorithm for customer churn prediction based on logistic regression and decision trees. *European Journal of Operational Research*, 269(2), 760-772.

De Caigny, A., Coussement, K., De Bock, K. W. ve Lessmann, S. (2020). Incorporating textual information in customer churn prediction models based on a convolutional neural network. *International Journal of Forecasting*, 36(4), 1563-1578.

Farquad, M. A. H., Ravi, V. ve Raju, S. B. (2014). Churn prediction using comprehensible support vector machine: An analytical CRM application. *Applied Soft Computing*, 19, 31-40.

Hadden, J., Tiwari, A., Roy, R. ve Ruta, D. (2006). Churn prediction: Does technology matter. *International Journal of Intelligent Technology*, 1(2), 104-110.

Huang, B., Kechadi, M. T. ve Buckley, B. (2012). Customer churn prediction in telecommunications. *Expert Systems with Applications*, 39(1), 1414-1425.

Jadhav, R. J., & Pawar, U. T. (2011). Churn prediction in telecommunication using data mining technology. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2(2).

Jain, H., Khunteta, A. ve Srivastava, S. (2020). Churn prediction in telecommunication using logistic regression and logit boost. *Procedia Computer Science*, 167, 101-112.

Kirui, C., Hong, L., Cheruiyot, W. ve Kirui, H. (2013). Predicting customer churn in mobile telephony industry using probabilistic classifiers in data mining. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 10(2 Part 1), 165.

Momin, S., Bohra, T. ve Raut, P. (2020). Prediction of customer churn using machine learning. *In EAI International Conference on Big Data Innovation for Sustainable Cognitive Computing* (pp. 203-212). Springer, Cham.

Shaaban, E., Helmy, Y., Khedr, A. ve Nasr, M. (2012). A proposed churn prediction model. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 2(4), 693-697.

Tsai, C. F. ve Lu, Y. H. (2009). Customer churn prediction by hybrid neural networks. *Expert Systems with Applications*, 36(10), 12547-12553.

Ullah, I., Raza, B., Malik, A. K., Imran, M., Islam, S. U. ve Kim, S. W. (2019). A churn prediction model using random forest: analysis of machine learning techniques for churn prediction and factor identification in telecom sector. IEEE Access, 7, 60134-60149.

Umayaparvathi, V. ve Iyakutti, K. (2017). Automated feature selection and churn prediction using deep learning models. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(3), 1846-1854.

Vafeiadis, T., Diamantaras, K. I., Sarigiannidis, G. ve Chatzisavvas, K. C. (2015). A comparison of machine learning techniques for customer churn prediction. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 55, 1-9.

Wei, C. P. ve Chiu, I. T. (2002). Turning telecommunications call details to churn prediction: a data mining approach. Expert systems with applications, 23(2), 103-112.

Konvolüsyonel Sinir Ağları(CNN)'nda Transfer Learning(VGG19), ResNet ve LeNet Modelleri ile Performans Karşılaştırmalı Görüntü Tespiti

Öğr. Gör. Baki GÖKGÖZ[1] , Dr. Öğr. Üyesi Tolga AYDIN[2]

[1]Gümüşhane Üniversitesi, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Torul Meslek Yüksekokulu, Gümüşhane, Türkiye
[2]Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Özet- Günümüzde Derin Öğrenme (DL)'nin kullanıldığı alanlarda Konvolüsyonel Sinir Ağları(CNN) birçok problemin çözümünde kullanılmaktadır. Genel olarak derin öğrenme yöntemleriyle çözülen problemlerin ortak özelliği çok büyük veriler üzerinde işlem yapılmasıdır. Bunun sonucu olarak problemlerin çözümü performans ve süre problemini ortaya çıkarmıştır. Ayrıca Derin Öğrenme (DL) modellerinin karmaşıklığına ve zaman maliyetine rağmen son zamanlarda bu modellerin kullanımındaki çok hızlı artış, TensorFlow, Keras ve PyTorch gibi çok kullanışlı ve erişilebilir kütüphanelerin varlığıyla bağlantılı olduğu yapılan çalışmalarda görülmektedir. Bu kütüphaneler NVIDIA GPU'lar için optimize edildiğinden, GPU tabanlı Derin Öğrenme yapıları eğitimi için çeşitli performans karakterizasyon çalışmaları mevcuttur. Bununla birlikte geliştirilen Derin Öğrenme (DL) modellerinin başarısı bu alana olan ilgiyi artırmaktadır. Bu çalışmada, Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) modelinin çeşitlerinden olan Transfer Learning(VGG19), ResNet ve LeNet-5 modelleri kullanılarak CIFAR-10 veri seti üzerinde görüntü işleme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin sonucunda performans kriterleri olarak belirlenen doğruluk ve süre karşılaştırılarak modellerin başarıları karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler- CNN, ResNet, Derin Öğrenme, LeNet, Transfer Learning

Performance Comparative Image Detection with Transfer Learning (VGG19), ResNet and LeNet Models in Convolutional Neural Networks (CNN)

Abstract- Today, Convolutional Neural Networks (CNN) are used to solve many problems in areas where Deep Learning (DL) is used. In general, the common feature of the problems solved by deep learning methods is the operation on very large data. As a result, the solution of the problems has revealed the problem of performance and duration. In addition, despite the complexity and time cost of Deep Learning (DL) models, a very rapid increase in the use of these models has recently been found to be linked to the availability of very useful and accessible libraries such as TensorFlow, Keras and PyTorch. Since these libraries are optimized for NVIDIA GPUs, various performance characterization studies are available for GPU-based Deep Learning structures training. However, the success of the Deep Learning (DL) models developed increases the interest in this field. In this study, image processing operations were performed on the CIFAR-10 data set using Transfer Learning (VGG19), which is one of the Convolutional Neural Networks (CNN) model, ResNet and LeNet-5 models. As a result of these processes, the accuracy and duration determined as performance criteria are compared and the successes of the models are shown comparatively.

Keywords- CNN, ResNet, Derin Öğrenme, LeNet, Transfer Learning

1. Giriş

Günümüzde Derin Sinir Ağları (DNN's), görüntü sınıflandırması, segmentasyon, konuşma tanıma ve metin analizi gibi daha birçok büyük veri işleme ve analiz etme işlemlerinde kullanılmaktadır. İşlenen verilerin çok olması bu verilerin anlamlandırılmasını zorlaştırmasına rağmen günümüzde kullanılan derin öğrenme modelleri bu verilerin işlenmesinde ve analizinde başarılı olmuşlardır. Son yıllarda, yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikle Konvolüsyonel Sinir Ağları(CNN) görüntü sınıflandırması ve eylem tanıma da dahil olmak üzere birçok bilgisayarlı görme alanında çok iyi performanslar elde etmiştir. Rakamların ve karakterlerin tanınmasında kullanılan ilk konvolüsyonel sinir ağı (CNN) LeNet'tir (LeCun

vd., 1989). LeNet mimarisinde iki konvolüsyonel katmanı ve iki tam bağlı katman vardır. CNN'lerin başarısının bir bölümü, görüntülerden mekansal olarak yerel ve hiyerarşik özellikleri yakalama yeteneklerine sahip olmalarıdır. 2012 yılında, AlexNet (Krizhevsky vd., 2017) ImageNet Büyük Ölçekli Görsel Tanıma Yarışması'nda (ILSVRC) çok başarılı bir performans göstermiştir. Görüntü sınıflandırması işlemleri için CNN'lerin performansı VGG (Chatfield vd., 2014), GoogleNet (Szegedy vd., 2015), ResNet (He vd., 2016b), FractalNet (Larsson vd., 2016) ve DenseNet (Huang vd., 2017) modelleri aracılığıyla sürekli olarak iyileştirilmiştir. Her modelde, ağın derinliğinin artırılması gelişmiş sınıflandırma doğruluğuna katkıda bulunduğu gözlemlenmektedir. Özellikle, (He vd., 2016b) (He vd., 2016a)'de daha derin ağların ortak veri kümelerinde (CIFAR 10, CIFAR 100, ve ImageNet) sınıflandırma doğruluğunu geliştirme eğiliminde olduğu gösterilmiştir. Bununla birlikte MobilNet gibi mobil ve gömülü görüş uygulamaları için özel olarak tasarlanmış küçük model boyutuna sahip birkaç yeni ağ dışında gerçek dünyadaki muazzam boyuttaki veri işleme uygulamalarına geliştirilen ağ modellerinin uygulanması zorlaşmaktadır (Howard vd., 2017). Örneğin, LeNet-5 1M'den daha az parametre içerirken, daha yeni olan AlexNet modeli ise 60M parametre içermektedir. Bu nedenle, hesaplama maliyetini azaltmak ve performans sınıflandırmasını iyileştirmek için yeni yöntemlerin bulunması önemli ve gereklidir.

Derin Öğrenme modellerinin kullanıldığı sistemlerin gözlemlenmesi ile elde edilen birçok sonuçta (Figurnov vd., 2015)(Kim vd., 2015)(LeCun vd., 1989) modellerde gereğinden fazla parametre kullanıldığı ispat edilmiştir. Ağ sıkıştırmasına odaklanan çeşitli çalışmaların(Denton vd., 2014)(Jaderberg vd., 2014) yanı sıra, diğer yöntemler, belirli görevlerin iletim kanalları geliştirilerek derin ağ çıkarımının hızlandırılmasıdır (Gao vd., 2017)(Ren vd., 2015). Bu çalışmada Lenet, VGG19 ve ResNet gibi farklı CNN modelleri kullanılılarak CIFAR-10 standart veri seti kümesinde görüntü sınıflandırması işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar gösterilmiştir.

2. Veri Seti ve İlgili Çalışmalar

2.1. CIFAR10 Veri Seti

Derin öğrenme modelleri için kullanılan veri setlerine erişimin araştırmacılara açık olması, bu alandaki ilerlemelere katkı sağlayan çok önemli bir unsur olmuştur. Araştırmacılara yeni sınıflandırma algoritmalarını doğrudan diğer çalışmalarla karşılaştırılabilecek şekilde test etme ve kıyaslama olanağı sağlamaktadır. Diğer araştırmacı grupları tarafından yapılan deneylerin tekrarlanması için de yararlıdır. CIFAR-10 veri kümesi: uçak, otomobil, kuş, kedi, geyik, kurbağa, köpek, gemi, kamyon ve at görüntülerini içermektedr. Bu çalışmada kullanılan CIFAR-10 Veri Seti(Krizhevsky vd., 2014) 10 sınıfta 60000 32x32 renkli görüntü içerir ve sınıf her bir sınıf 6000 görüntüye sahiptir. Veri seti 50000 eğitim görüntüsü ve 10000 test görüntüsü olarak bölümlendirilmiştir. Veri seti, her biri 10000 görüntüye sahip beş eğitim grubuna ve bir test grubuna ayrılmıştır. Test grubu, her sınıftan tam olarak rastgele seçilen 1000 görüntü içermektedir. Eğitim grupları ise kalan görüntüleri rastgele sırada içerir, ancak bazı eğitim grupları bir sınıftan diğerinden daha fazla görüntü içerebilmektedir. Her bir sınıfa ait rastgele veri seti Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. CIFAR 10 veri setinde her bir sınıfa ait örnek resimler

2.2. İlgili Çalışmalar

Vignesh Thakkar ve Suman Tewary (Thakkar vd., 2018) yaptıkları çalışmada çeşitli modern Konvolüsyonel Ağları'nın karşılaştırmalı bir çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada DenseNet, VGG, Inception Network ve ResNet ile farklı aktivasyon fonksiyonu kullanımı ve Toplu Normalizasyonun önemini gösteren bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada veri seti olarak CIFAR-10 kullanılmıştır.

Nesne Tanıma için Konvolüsyonel Sinir Ağları'nın kullanımı çalışmasında (Carvalho & Engel, 2013) CIFAR-10 veri seti kullanılmıştır.

CIFAR-10 veri kümesindeki farklı sınıflandırıcıların performansının incelendiği çalışmada (Abouelnaga vd., 2016) daha iyi bir performansa ulaşmak için sınıflandırıcılar kümesi oluşturulmuştur.

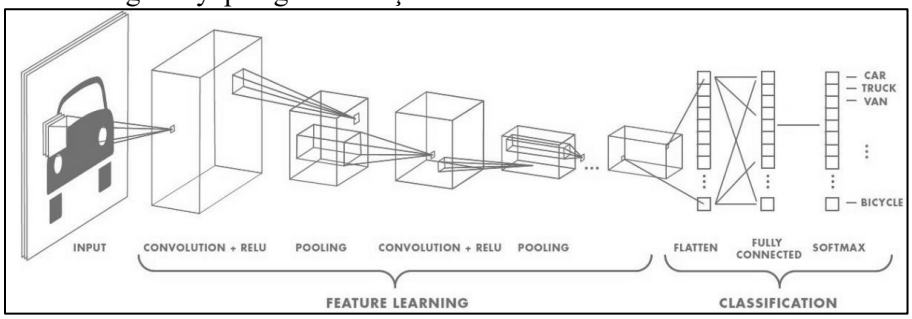
Başka bir çalışmada (Recht vd., 2018) ise CIFAR-10 veri seti üzerinde çalışan sınıflandırıcıların oluşturulan yeni bir veri seti ile doğruluk oranları CIFAR-10 ile karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Yeni test setinin orijinal veri dağıtımına olabildiğince yakın olmasını sağlansa da, çok çeşitli derin öğrenme modelleri için doğrulukta büyük bir düşüş (%4 ila %10) olduğu gözlemlenmiştir.

3. Metodoloji

Bu bölümde, Evrişimli Sinir Ağı (CNN), VGG19, LeNet ve ResNet'e genel bir bakış yapılmıştır.

3.1. Konvolüsyonel Sinir Ağları (Convolution Neural Network (CNN))

Günümüzde büyük verilerin işlenmesi ve işlenen bu verilerin analiz edilip sınıflandırılmasında Derin Öğrenme yöntemlerinden olan Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) modeli çok sıklıkla kullanılan modellerden olduğu bilinmektedir.CNN modeli, standart Yapay Sinir Ağı yapısına oldukça benzemektedir. Tipik bir CNN mimarisi bir evrişim katmanı, aktivasyon fonksiyonu (ReLU), maksimum havuzlama katmanı ve tama bağlı katmandan oluşmaktadır (El Housseini vd., 2017)(Vu vd., 2017). Şekil-2'de CNN'in genel yapısı gösterilmiştir.

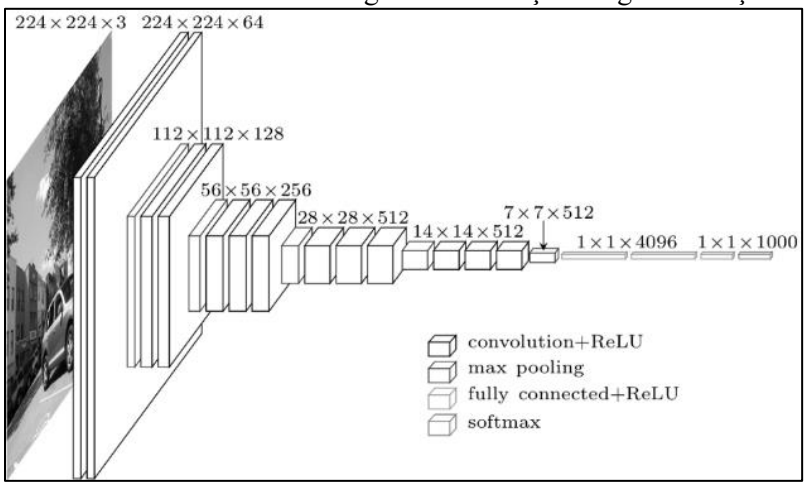


Şekil 2. Konvolüsyonel Sinir Ağları (CNN) Genel Yapısı

Evrişim Katmanları, girdilerden özellikler çıkarmak için kullanılan bir filtre kümeleri topluluğudur. Her çekirdek, görüntüdeki küçük kısımları bir özellik olarak inceleyerek belirli kalıpları tespit etmekten sorumludur (D. & P., 2015). ReLU'lar genellikle Konvolüsyonel Katmanlarını bir aktivasyon fonksiyonu olarak takip ederler. Yaygın olarak kullanılan MLP aktivasyon fonksiyonu CNN'leri eğitmek için uygunluğu azdır. Bu nedenle, teğet sigmoid aktivasyon fonksiyonuna (MLP) alternatif olarak ReLU önerilmiştir (Hochreiter, 1998). Ayrıca, ReLU katmanlarındaki hesaplamalar daha basit olduğundan CNN eğitimini de hızlandırabilmektedir (Gulcehre vd., 2016). Konvolüsyon ve ReLU katmanları tipik olarak önemli miktarda özellik üretmektedir. Bu özellikler, basitleştirilmeden doğrudan CNN'nin daha derin katmanlarına gönderilirse, CNN eğitim performansını etkileyebilir. Havuzlama katmanları, özelliklerin çözünürlüğünü azaltmaya yardımcı olur, böylece aşağıdaki katmanlar için hesaplama maliyetlerini azaltır. Ayrıca, katmanları bir araya getirmek yerel sapmaları önleyebilir ve çıktıyı düzeltebilir. Fully-Connected katman, CNN'yi tamamlamak için sınıflandırma katmanı olarak işlev görür. Softmax Katmanı Fully-Connected (El Housseini vd., 2017) (D. & P., 2015) çıkışına yerleştirilir. Rolü, nihai CNN çıktısını birleştirmek ve kullanıcıya sunmaktır (D. & P., 2015). Softmax aktivasyon fonksiyonu, basitliği ve olasılıksal yorumu nedeniyle CNN'de yaygın olarak benimsenmiştir (Arnold vd., 2011). Bilgisayarlı görme işlemlerinde kullanılan çok sayıda CNN modeli bulunmaktadır. Bu modellerin her birinin belirli uygulama sınıfları için kendine ait performans gücü ve sağlamlığı vardır. Bu çalışmada kullanılan modellerin yapısına ve çalışma mantığına uygulama çerçevesinde değinilmiştir.

3.2. Transfer Learning(VGG-19)

Transfer Learning, makine öğrenimi alanında bir araştırma problemidir . Bir problemi çözerken edinilen bilgiyi depolar ve farklı fakat ilgili bir soruna uygular. Örneğin, kedileri tanımayı öğrenirken edinilen bilgiler çitaları tanımaya çalışırken uygulanabilir. Derin öğrenmede, transfer öğrenimi, bir sinir ağı modelinin ilk olarak çözülmekte olan soruna benzer bir problem üzerinde eğitildiği bir tekniktir. Transfer öğrenimi, bir öğrenme modeli için eğitim süresini azaltma avantajına sahiptir ve daha düşük genelleme hatasına sahip olabilmektedir (Vaibhav, 2020). VGG-19, Oxford Üniversitesi'nden Karen Simonyan ve Andrew Zisserman tarafından geliştirilen bir çalışmada (Simonyan & Zisserman, 2014) önerilen Derin Evrimsel Sinir Ağıdır. Bu evrişimli sinir ağı mimarisinde 19 katman olduğundan VGG-19 olarak adlandırılmıştır. VGG-19, 19 katmanı destekleyen yenilikçi bir nesne tanıma modelidir. Derin bir CNN olarak inşa edilen VGG, birçok veri kümesinde uygulanan derin öğrenme işlemlerinde taban iyi performans göstermektedir. VGG şu anda hala en çok kullanılan görüntü tanıma mimarilerinden biridir. Ayrıca VGG birim bileşeni olarak blok kullanılan ilk ağ modelidir. Her blok bir dizi evrişimsel katmandan oluşur, bunu mekansal alt-örnekleme için bir maksimum havuzlama katmanı takip etmektedir. VGGNet'in geliştiricileri evrişim için 3x3 çekirdek kullanmışlardır. Daha sonra, bu mimariden yola çıkılarak VGGNet, belirli durumlar için 5x5, 7x7 çekirdek kullanacak şekilde özelleştirilmiştir. Bu model, iyileştirilmiş eğitim süresi ile evrişimli bir sinir ağındaki parametre sayısını azaltmak için önerilmiştir. Şekil 3'te VGG-19'un mimarisini gösteren blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 3. VGG-19 Genel Yapısı (Vaibhav, 2020)

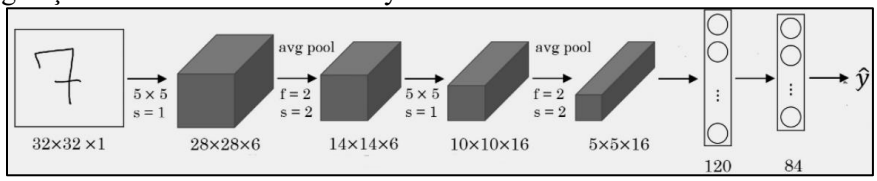
3.2.1. VGG19 Implementasyonu

VGG19 uygulama kısmında keras kütüphanesi kullanılmıştır. Uygalmaya ilk önce Keras kütüphanesi import edilmektedir. Keras kütüphasi VGG19 modelini içermektedir, bunun için bu kütüphane kullanılarak VGG19 modeli uygulamaya dahil edilir. Uygulamada CIFAR-10 veri seti kullanılmakta olup bu veri seti on farklı sınıf içermektedir. Bu sınıfların etiketlenmesi için "to_categorical" uygulamaya import edilir. Daha sonra ilgili katmanlar uygulamaya eklenir. Dataset ve resimleri yeniden boyutlandırmak için OpenCV uygulamaya import edilmektedir. CIFAR10 veriseti test ve eğitim seti olarak ayrılır ve bu değişkenlere atanır. VGG19 modeli minimum 48x48 boyuttaki resimleri kabul etmektedir. Fakat CIFAR-10 ise 32x32 boyutludur bunun için OpenCV2 kütüphanesi kullanılarak resimler yeniden boyutlandırılı. Yeniden boyutlandırma işlemi için resize metodu kullanılarak pixel artışı işlemi gerçekleştirilmektedir. Daha sonra "Sequential" model oluşturularak ilgili modellere buraya aktarılır. Bu aşamadan sonra uygulanın sonlanma kriterleri belirlenerek uygulama çalıştırılır. Son olarak ise uygulamanın performansı hesaplanarak grafiksel olarak gösterilmektedir.

3.3. LeNet

Yann LeCun ve ekibi tarafından posta numaraları, banka çekleri üzerindeki sayıların okunması için geliştirilmiştir (LeCun vd., 1989). MNIST (Modified National Institute of Standards and Technology) veri seti üzerinde uygulamalar gerçekleştirilmiştir. CNN LeNet mimarisinde daha sonradan geliştirilmiş olan diğer mimarilerden farklı olarak boyut azalma adımlarında max-pooling yerine average (ortalama) pooling işlemi yapılmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu olarak ise sigmoid ve hiperbolik tanjant fonksiyonları kullanılmaktadır. Bu modelin kullanıldığı uygulama Şekil 4'te gösterilmiştir. Şekil 4'de bakıldığında Fully-Connected katmanına gelen parametre sayısı 5x5x16=400 olarak hesaplanıp gösterilmiştir. Çıktı olarak ise 0-9 rakamlarının sınıflandırıldığı 10 adet sınıfa sahip olan softmax katmanı

bulunmaktadır. Buradaki çıktılar ise y olarak adlandırılmıştır. LeNet Ağ'ı boyunca matrise ait yükseklik ve genişlik verisi azalırken kanal sayısı artmaktadır.



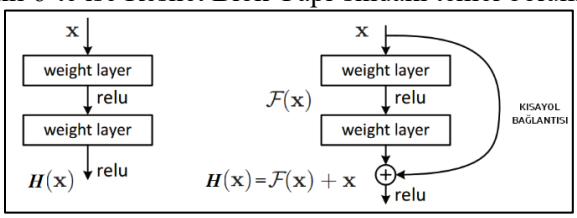
Şekil 4. Lenet-5

3.3.1.LeNet Implementasyonu

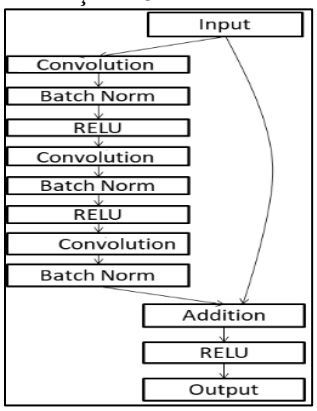
LeNet-5 uygulama kısmında keras kütüphanesi kullanılmıştır. Uygalmaya ilk önce Keras kütüphanesi import edilmektedir. Daha sonra diğer kütüphaneler uygulamaya dahil edilir. VGG19 modelinde olduğu gibi CIFAR-10 veri seti uygulamaya yüklenerek eğitim ve test bölümlerine ayrılmaktadır. Uygulamada oluşturulan etiketler tam sayıdan vektörel büyüklüklere dönüştürülür. Optimizer ve model oluşturulur. Oluşurulan ağ eğitilir. Eğitim işleminden sonra uygulama test edilerek sonuçlar gözlemlenir. Son olarak ise elde edilen doğruluk ve kayıp değerleri grafiksel olarak görselleştirilir.

3.4. Deep Residual Network (ResNet)

Bu çalışmada kullanılan ikinci yöntem ise ResNet modelidir. ResNet (He vd., 2016b) klasik CNN modelleri arasında tüm mimarilerden daha derin olarak tasarlanan birmodel olarak geliştirilmiştir. ResNet katman mimarisi olarak 152 katmandan oluşmaktadır. ResNet, Microsoft araştırma ekibi tarafından geliştirilmiştir. ResNet mimarisinde amacı derinliği fazla olan ağ yapılarının eğitimindeki zorluğu ve ortaya çıkan problemleri ortadan kaldırmaktır. CNN mimarilerinden farklı olarak kısayol bağlantılarına sahiptir. Uygulanan bu kısayol bağlantıları mimariyi zorlayacak ve karmaşık hale getirebilecek ekstra parametre içermemekte olup hesaplama işlemlerinde zorluklara sebep olmamaktadır (He vd., 2016b). Geleneksel CNN $H(x)$ ile Şekil 5'te sol tarafta gösterilmiş olup ağın bir kısmını eşlemektedir. ResNet'te ise $H(x), F(x) + x$ olarak tanımlanır; burada x, ilgili ağın bir bölümünü ifade etmektedir. Böylece önceki katmanlar da hesaplanan ağırşık değerleri kayba uğramadan korunarak daha kolay tanımlanabilmektedir. Şekil 6'te ise Resnet Blok Yapı'sındaki temel bölümler gösterilmiştir.



Şekil 5. Sol: Geleneksel CNN, Sağ: ResNet



Şekil 6. ResNet Blok Yapısı

3.4.1.ResNet Implementasyonu

ResNet uygulama kısmında diğer modellerde olduğu gibi Keras kütüphanesi kullanılmıştır. Uygalmaya ilk önce Keras kütüphanesi import edilmektedir. Daha sonra diğer kütüphaneler uygulamaya dahil edilir. Diğer modellerde olduğu gibi bu ResNet modelinde de CIFAR-10 veri seti uygulamaya yüklenerek eğitim ve test bölümlerine ayrılmaktadır. Daha sonra modele ait ağ oluşturularak eğitilir. Eğitim işleminden sonra uygulama test edilerek sonuçlar gözlemlenir. Son olarak ise elde edilen doğruluk ve kayıp değerleri grafiksel olarak görselleştirilir.

4. Kullanılan Araçlar ve Performans Kriterleri

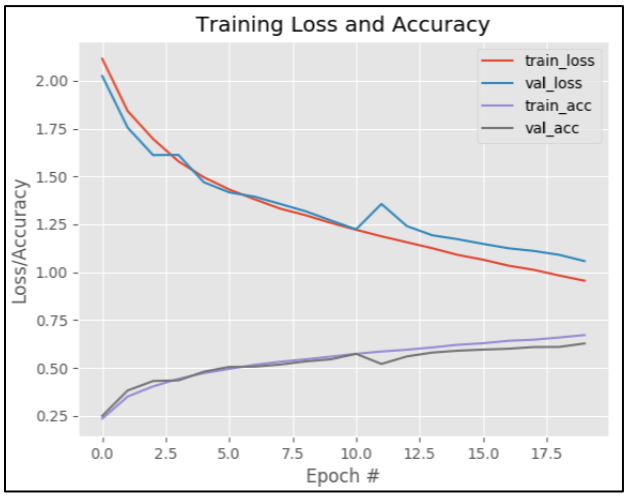
LeNet, VGG-19 ve ResNet Sinir Ağı modellerinin performansı doğruluk ve çalışma sürelerine göre değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan modellerin kod bölümleri ise günümüzde özellikle derin öğrenme alanında çok yaygın olarak kullanılan Python programlama dilinde kodlanmıştır. Çalışmanın ana hedefini oluşturan eğitim ve test işlemleri için ise Keras kütüphanesi kullanılmıştır. Her iki algoritma Intel i5 2450M işlemciye sahip bir bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen modeller donanım kısıtı probleminden dolayı 10 devir işlemi olarak gerçekleştirilmiştir.

5. Deneysel Sonuçlar

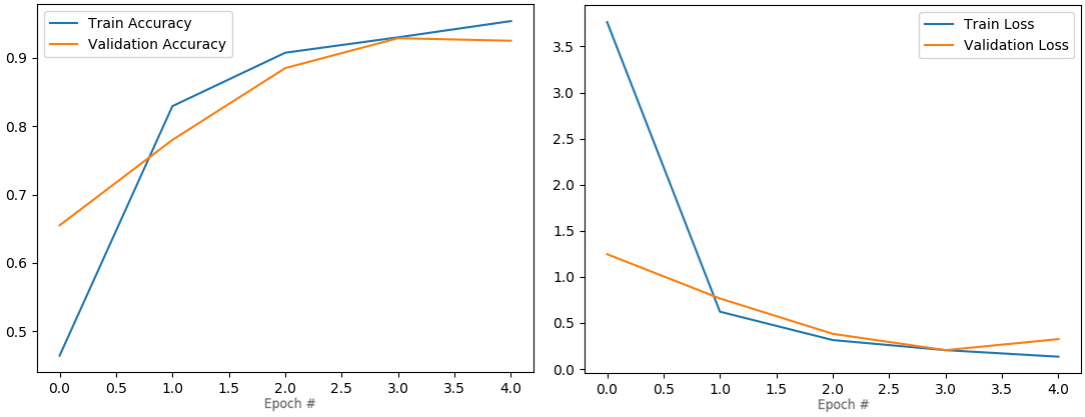
CNN modellerinden olan LeNet, VGG-19 ve ResNet Sinir Ağı modellerinin performans verileri Tablo 1 de gösterilmiştir. Bu verilere göre ResNet ve VGG19 modelinin daha başarılı olduğu görülmüştür. LeNet modelinin ise diğer modellere göre başarı oranının daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 1: Konvolüsyonel Sinir Ağı ve ResNet'in Doğruluk Karşılaştırması

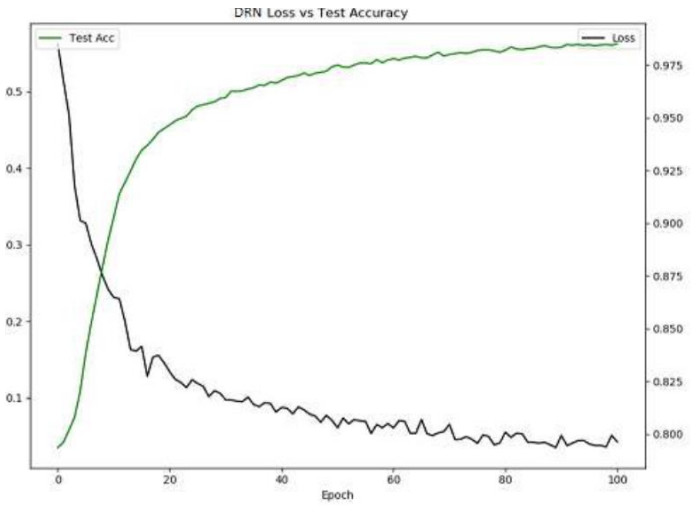
DOĞRULUK PERFORMANSI			
Accuracy	LeNet	ResNet	VGG19
Eğitim	85%	97%	95%
Test	74%	96%	92%



Şekil 7. LeNet Train Accuracy, Validation Accuracy, Train Loss ve Validation Loss



Şekil 8. VGG19 Train Accuracy, Validation Accuracy, Train Loss ve Validation Loss



Şekil 9. ResNet Train Accuracy ve Loss Accuracy

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada CIFAR-10 veri seti üzerinde LeNet, VGG-19 ve ResNet Sinir Ağı modellerinin uygulanmış ve sonuçlar hem eğitim hem de test veri setleri için birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Her üç modele ait sonuçların eğitim ve test veri setleri doğrulukları VGG19 ve ResNet modelleri başarılı ve birbirine yakın olarak bulunmuştur. LeNet ise başarı olarak daha düşük sonuç vermiştir. Bu çalışmada daha iyi sonuçlar elde edilebilmesi için kullanılan yöntemlerin derinliği artırılabilir. Bununla birlikte derin öğrenmede sistemin derinliği arttıkça zaman maliyeti ortaya çıkmaktadır. Geliştirilen uygulamalarda bu durum göz önünde bulundurularak daha gelişmiş CPU ve GPU'ya sahip bilgisayarlarda uygulamalar çalıştırılabilir. Böylece zaman maliyetinin önüne geçilmiş olunur. Bunlara ek olarak doğruluk oranını arttırmak için gelecekte farklı ve birbirine entegre derin öğrenme yöntemleri kullanımı test edilebilir.

KAYNAKLAR

Abouelnaga, Y., Ali, O. S., Rady, H., & Moustafa, M. (2016). CIFAR-10: KNN-Based Ensemble of Classifiers. *2016 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, 1192–1195. https://doi.org/10.1109/CSCI.2016.0225

Arnold, T. D. W., Miller, M., van Wessem, K. P., Evans, J. A., & Balogh, Z. J. (2011). Large-Margin Softmax Loss for Convolutional Neural Networks arXiv:1612.02295v4. Içinde *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care* (C. 71, Sayı 4, ss. 793–797). https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31822ad694

Carvalho, E. F., & Engel, P. M. (2013). Convolutional Sparse Feature Descriptor for Object Recognition in CIFAR-10. *2013 Brazilian Conference on Intelligent Systems*, 131–135. https://doi.org/10.1109/BRACIS.2013.30

Chatfield, K., Simonyan, K., Vedaldi, A., & Zisserman, A. (2014). Return of the Devil in the Details: Delving Deep into Convolutional Nets. *Journal of the British Institute of Mental Handicap (APEX)*, *12*(3), 123–124. https://doi.org/10.1111/j.1468-3156.1984.tb00237.x

D., K. N., & P., B. S. (2015). Learning of Generic Vision Features Using Deep CNN. *2015 Fifth International Conference on Advances in Computing and Communications (ICACC)*, 54–57. https://doi.org/10.1109/ICACC.2015.52

Denton, E., Zaremba, W., Bruna, J., LeCun, Y., & Fergus, R. (2014). *Exploiting Linear Structure Within Convolutional Networks for Efficient Evaluation*. http://arxiv.org/abs/1404.0736

El Housseini, A., Toumi, A., & Khenchaf, A. (2017). Deep Learning for target recognition from SAR images. *2017 Seminar on Detection Systems Architectures and Technologies (DAT)*, 1–5. https://doi.org/10.1109/DAT.2017.7889171

Figurnov, M., Ibraimova, A., Vetrov, D., & Kohli, P. (2015). *PerforatedCNNs: Acceleration through Elimination of Redundant Convolutions*. http://arxiv.org/abs/1504.08362

Gao, M., Yu, R., Li, A., Morariu, V. I., & Davis, L. S. (2017). *Dynamic Zoom-in Network for Fast Object Detection in Large Images*. http://arxiv.org/abs/1711.05187

Gulcehre, C., Moczulski, M., Denil, M., & Bengio, Y. (2016). *Noisy Activation Functions*. http://arxiv.org/abs/1603.00391

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016a). *Identity Mappings in Deep Residual Networks*. http://arxiv.org/abs/1603.05027

He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016b). Deep Residual Learning for Image Recognition. *2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 770–778. https://doi.org/10.1109/CVPR.2016.90

Hochreiter, S. (1998). The Vanishing Gradient Problem During Learning Recurrent Neural Nets and Problem Solutions. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, *06*(02), 107–116. https://doi.org/10.1142/S0218488598000094

Howard, A. G., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., & Adam, H. (2017). *MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications*. http://arxiv.org/abs/1704.04861

Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., & Weinberger, K. Q. (2017). Densely Connected Convolutional Networks. *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2261–2269. https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.243

Jaderberg, M., Vedaldi, A., & Zisserman, A. (2014). *Speeding up Convolutional Neural Networks with Low Rank Expansions*. http://arxiv.org/abs/1405.3866

Kim, Y.-D., Park, E., Yoo, S., Choi, T., Yang, L., & Shin, D. (2015). *Compression of Deep Convolutional Neural Networks for Fast and Low Power Mobile Applications*. http://arxiv.org/abs/1511.06530

Krizhevsky, A., Nair, V., & Hinton, G. (2014). *The CIFAR-10 dataset*. https://www.cs.toronto.edu/~kriz/cifar.html

Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Hinton, G. E. (2017). ImageNet classification with deep convolutional neural networks. *Communications of the ACM*, *60*(6), 84–90. https://doi.org/10.1145/3065386

Larsson, G., Maire, M., & Shakhnarovich, G. (2016). *FractalNet: Ultra-Deep Neural Networks without Residuals*. http://arxiv.org/abs/1605.07648

LeCun, Y., Boser, B., Denker, J. S., Henderson, D., Howard, R. E., Hubbard, W., & Jackel, L. D. (1989). Backpropagation applied to digit recognition. Içinde *Neural computation* (C. 1, Sayı 4, ss. 541–551).

Recht, B., Roelofs, R., Schmidt, L., & Shankar, V. (2018). *Do CIFAR-10 Classifiers Generalize to CIFAR-10?* http://arxiv.org/abs/1806.00451

Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2015). *Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks*. http://arxiv.org/abs/1506.01497

Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). *Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition*. http://arxiv.org/abs/1409.1556

Szegedy, C., Wei Liu, Yangqing Jia, Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., & Rabinovich, A. (2015). Going deeper with convolutions. *2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, *07-12-June*, 1–9. https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298594

Thakkar, V., Tewary, S., & Chakraborty, C. (2018). Batch Normalization in Convolutional Neural Networks — A comparative study with CIFAR-10 data. *2018 Fifth International Conference on Emerging Applications of Information Technology (EAIT)*, 1–5. https://doi.org/10.1109/EAIT.2018.8470438

Vaibhav, K. (2020). *Transfer Learnıng For Multi-Class Image Classificatıon Using Deep Convolutional Neural Network*. https://analyticsindiamag.com/transfer-learning-for-multi-class-image-classification-using-deep-convolutional-neural-network/

Vu, T. D., Yang, H.-J., Nguyen, V. Q., Oh, A.-R., & Kim, M.-S. (2017). Multimodal learning using convolution neural network and Sparse Autoencoder. *2017 IEEE International Conference on Big Data and Smart Computing (BigComp)*, 309–312. https://doi.org/10.1109/BIGCOMP.2017.7881683

Introducing Trees Obtained from Given Graph for Finding Independent Set: Greedy Approach

Şeyda KARCI, Ali ARI
İnönü University, Department of Computer Engineering, Battalgazi, Malatya

Abstract
The independent set of a given graph finding is an NP-Complete problem. There are many studies on this problem, however, there is no deterministic and optimal method to solve this problem. In order to solve this problem, two types spanning trees of given graph can be obtained for greedy approach as efined in literature. In this paper, we will introduce these two spanning trees in details, and give algorithms for obtaining these two spanning trees.

Keywords: Independent set, Kmax spanning tree, Kmin spanning tree.

1. Introduction

There are many methods which are used for problem solving in science and engineering problems such as differential equations, Bayesian networks, graphs, etc. Graph is a mathematical model for solving problems in science and engineering. Especially, the events, objects, etc. and their relationships can be modelled by using graphs. The mathematical model graph can be defined as follow.

Definition 1*: A graph G = (V,E) consists of a set V of vertices and a set E of edges. The nodes/vertices represent entities, attributes, etc and edges represent the relationships among these nodes, so, $E \subseteq VxV$. A graph, which does not consist of parallel and loop edges, called simple graph.*

The independent set and dominating set finding problems are NP-Complete problems. The main focus of this study is to introduce data structures such as Kmax and Kmin spanning trees for given graph.

Definition 2. *Assume that G=(V,E) is a simple graph where V is a set of nodes (vertices) and E is a set of edges ($E \subseteq VxV$). A node v_i is said to be neighbour of v_j if $(v_i,v_j) \in E$. $I \subseteq V$, $\forall v_i,v_j \in I$, $v_i \notin N(v_j)$ where $N(v_j)$ is the set of nodes which are neighbours of v_j, I is called as independent set for graph G. Assume that $I_2 \subseteq V$, $\forall v_i,v_j \in I_2$, $v_i \notin N(v_j)$, if there is no such $I \subset I_2$, I is called maximal independent set.*

It is known that Independent Set problem is an NP-Hard problem, and there are many studies on Independent Set problem. The dynamic programming approach was used to solve independent set problem in polynomial time for claw-free graphs (Brandstadt and Mosca, 2018). Laflamme and his friends tried to show that Kn-free graph and minimal r=r(G,m) where $m \in N$, independent set meets at least m colour classes in a set of size |V| for any balanced r-colouring of the vertices of graph G (Laflamme and et al, 2019). There is a study tring to obtain the number of independent sets and maximal independent sets in path-tree bipartite graphs, which are a subclass of bipartite graphs between tree convex bipartite graphs and convex bipartite graphs Lin (Lin, 2018). The number of maximal independent sets on a complete rectangular grid graphs was studied in (Oh, 2017). An algorithm of linear-time was developed for counting independent sets, determining maximal independent sets, independent perfect dominating sets in bipartite permutation graphs (Lin and Chen, 2017). The limitations for the cardinality of independent sets for given graphs was studied in (Sah et al, 2019).

In order to solving the independent / maximal independent set problem requires the determining effects of nodes (Karci and Karci, 2020; Karci, 2020a; Karci, 2020b). The effects of nodes can be determining

two types spanning trees of given graphs (Karci and Karci, 2020; Karci, 2020a; Karci, 2020b). The spanning trees include all nodes of given graph and |E|=|V|-1 edges.

Definition 3: *A spanning tree is a subset of graph G, which has all the vertices covered with minimum possible number of edges.*

2. Kmax and Kmin Spanning Trees and Their Constructions

Kmax and Kmin spanning trees were defined in (Karci, 2020a; Karci, 2020b). Kmax makes nodes of less degrees be important and Kmin makes nodes of larger node degrees be important. The combination of Kmax and Kmin will determine the effects of nodes for obtaining maximal independent set. Kmax and Kmin spanning trees were defined in literature and their definitions can be given here with their properties.

Definition 4*: Kmax=(V,E_1) is a spanning tree of G=(V,E) where Kmax has got the following properties.*

a) One of the node with maximum degree is the root node.
b) The node will be expanded should have maximum remaining degree (the remaining degree is the number of neighbours of corresponding node which still have not added to Kmax).
c) The node of less level number has priority over the other where all nodes have equal remaining degrees (the level of root is zero and nodes near to root have less level number).
d) The nodes of less degrees are near to leafs.

Definition 5*: Kmin=(V,E_1) is a spanning tree of G=(V,E) where Kmin has got the following properties.*

e) One of the node with minimum degree is the root node.
f) The node will be expanded should have minimum remaining degree (the remaining degree is the number of neighbours of corresponding node which still have not added to Kmin).
g) The node of less level number has priority over the other where all nodes have equal remaining degrees (the level of root is zero and nodes near to root have less level number).
h) The nodes of larger degrees are near to leafs.

The Algorithm 1 constructs the Kmax tree for given graph and Algorithm 2 constructs the Kmin tree for corresponding graph.

G=(V,E) is a given graph where V={v_1,v_2,…,v_n}. Algorithm 1 executes as follow:

The set V is sorted with respect to the node degrees of nodes in V in descending order. Any node with maximum degree (assume it is v_i) is selected as root node for spanning tree Kmax of given graph G. The node in N(v_i) are added to spanning tree Kmax as children of v_i. The children of v_i are expanded from maximum degree to minimum degree. The remaining node degrees and node level give priority to corresponding node and the same case is valid for construction of Kmin.

G=(V,E) is a given graph where V={v_1,v_2,…,v_n}. Algorithm 2 executes as follow:

The set V is sorted with respect to the node degrees of nodes in V in ascending order. Any node with minimum degree (assume it is v_i) is selected as root node for spanning tree Kmin of given graph G. The node in N(v_i) are added to spanning tree Kmin as children of v_i. The children of v_i are expanded from minimum degree to maximum degree.

The Kmax and Kmin spanning trees of graph given in Fig.1 are seen in Fig.2 and Fig.3, respectively.

Algorithm 1: Construction of Kmax	**Algorithm 2**: Construction of Kmin
Kmax_Tree(A,AT,D)	Kmin_Tree(A,AT,D)
1. Q←∅	1. Q←∅
2. r←max(D) // D is degree matrix	2. r←min(D) // D is degree matrix
3. T=(V,E1) and E1←∅	3. T=(V,E1) and E1←∅
4. i←1,…, |V|	4. i←1,…, |V|
5. j←1,…,|V|	5. j←1,…,|V|
6. AT(i,j)←0	6. AT(i,j)←0
7. EnQueue(Q,r)	7. EnQueue(Q,r)
8. Q2←∅	8. Q2←∅
9. for i←1,…,|N(r)|	9. for i←1,…,|N(r)|
10. EnQueue(Q2,v_i), $v_i \in N(r)$	10. EnQueue(Q2,v_i), $v_i \in N(r)$
11. if AT(r,s)=0 then	11. if AT(r,s)=0 then
12. AT(r,s)=1, AT(s,r)=1	12. AT(r,s)=1, AT(s,r)=1
13. EnQueue(Q2,s)	13. EnQueue(Q2,s)
14. while Q2≠∅	14. while Q2≠∅
15. v←DeQueue_Max(Q2,A,AT)	15. v←DeQueue_Min(Q2,A,AT)
16. EnQueue(Q,v)	16. EnQueue(Q,v)
17. for i←1,…,|N(v)|	17. for i←1,…,|N(v)|
18. if not($v_i \in$Q2) and $v_i \in N(v)$	18. if not($v_i \in$Q2) and $v_i \in N(v)$
19. EnQueue(Q2,v_i)	19. EnQueue(Q2,v_i)
20. AT(v,v_i)=1, AT(v_i,v)=1	20. AT(v,v_i)=1, AT(v_i,v)=1
21. Remove_Zero(Q2,A,AT)	21. Remove_Zero(Q2,A,AT)

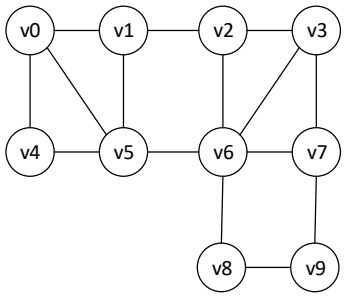


Figure 1. Any graph G=(V,E).

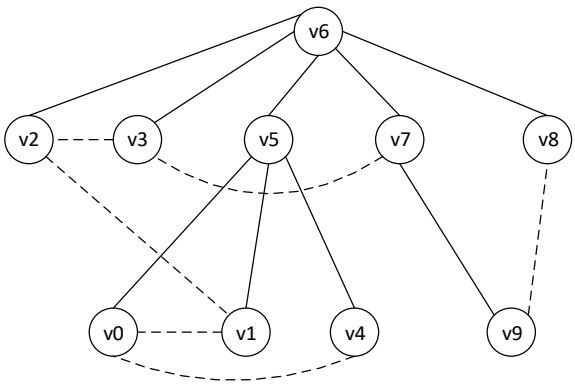


Figure 2. Kmax spanning tree of graph given in Fig.1.

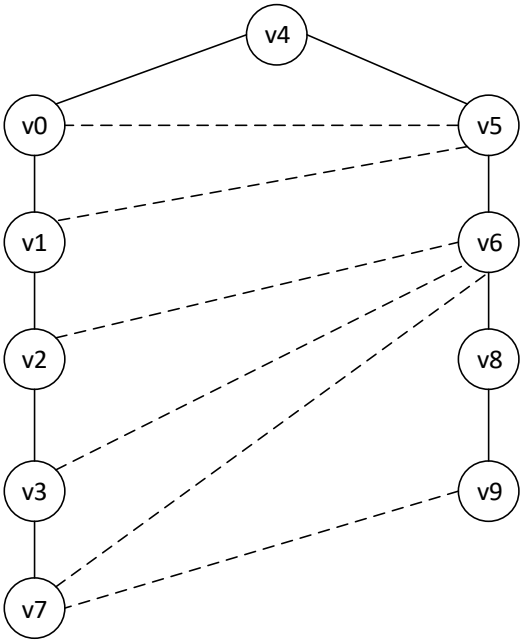


Figure 2. Kmin spanning tree of graph given in Fig.1.

3. Conclusions

This paper includes the introducing of Kmax and Kmin spanning trees of given graph. Kmax tree forces nodes of less node degrees to grater level and Kmin tree forces nodes of less node degrees to grater level. These cases affect the node effectivess. The collaboration of both trees with fundamental cut-sets is subject future research for developing algorithm for maximal independent set finding.

References

Brandstadt, A., Mosca, R.,(2018), "Maximum weight independent set for Lclaw-free graphs in polynomial time", Discrete Applied Mathematics, Vol:237, pp:57-64.

Karci, A., Karci, Ş.,(2020),"Determination of Effective Nodes in Graphs", International Conference on Science, Engineering & Technology, Mecca, Saudi Arabia, pp:25-28.

Karci, A.,(2020a),"Finding Innovative and Efficient Solutions to NP-Hard and NP-Complete Problems in Graph Theory", Anatolian Science – Journal of Computer Science, Vol:5, pp:137-143.

Karci, A.(2020b),"Efficient Algorithms for Determining the Maximum Independent Sets in Graphs", Anatolian Science – Journal of Computer Science, vol:5, pp:144-146.

Laflamme, C., Aranda, A., Soukup, D.T., Woodrow, R.,(2019),"Balanced independent sets in graphs omitting large cliques", Journal of Combinatorial Theory, Series B, Vol:137, pp:1-9.

Lin, M.-S.,(2018),"Counting independent sets and maximal independent sets in some subclasses of bipartite graphs", Discrete Applied Mathematics, Vol:251, pp:236-244.

Lin, M.-S., Chen, C.-M.,(2017),"Linear-time algorithms for counting independent sets in bipartite permutation graphs", Information Processing Letters, Vol:122, pp:1-7.

Oh, S., (2017),"Maximal independent sets on a grid graph", Discrete Mathematics, Vol:340, pp:2762-2768.

Sah, A., Sawhhney, M., Stoner, D., Zhao, Y.,(2019),"The number of independent sets in an irregular graph", Journal of Combinatorial Theory, Series B, Vol:138, pp:172-195.

Color image noise reduction based on mean deviation

Taymaz Rahkar Farshi,
Istanbul Ayvansaray University, Software Engineering, 34020, Kazlıçeşme , Istanbul

Abstract

In this paper a new image noise reduction method is proposed. The proposed method is based on pixels mean deviation. The pixel which is closer to mean of mask values is replaced with target pixel. The algorithm is applied on Lena image which is polluted by salt and pepper noise with 0.1 noise intensity. In the experimental simulations both numerical and visual comparisons with bilateral filter are demonstrated. The experimental results Indicates the proposed algorithm can successfully remove impulse noise from noisy image and it is an effective image noise reduction method.

Keywords: image denoising, Image noise reduction, image processing.

Introduction

Digital Image is widely used in medical, military, agricultural and industrial production [1]. These images can be affected by noise during the image acquisition process. These noises usually appear in different form in images, which are usually randomly added to images [2]. Thus, the main step in image processing is an enhancement operation which is used to reduce noise [3, 4]. Image denoising is an important task to deal with this pollutions [5]. The aim of image denoising is to remove unwanted pixels (noise) from the noising polluted images [6]. The algorithm which is able to return the noisy image as close as possible to original image is desired. Wide variety studies have been done in this issue. Mean filter, Median filter, Gaussian and bilateral filter can be considered as well-known algorithms in this area [7-9]. Even some method are developed by changing this methods in 1998 Tomasi and Manduchi Propose Bilateral filter [10]. This method is a nonlinear filter which takes a weighted sum of the pixels in a local neighborhood; the weights depend on the spatial distance (geometric) and intensity distance (photometric). In this method, edges are preserved well while noise is averaged out. The bilateral filter is calculated as follows:

$$\tilde{I}(p) = \frac{1}{C} \sum_{q \in N(p)} e^{\frac{-\left|\left|q-p\right|\right|^2}{2\sigma_d^2}} e^{\frac{-|I(q)-I(p)|^2}{2\sigma_r^2}} I(q) \quad (1)$$

Where $-\left|\left|q-p\right|\right|^2$ measures the geometric closeness between a nearby point q and the neighborhood center p. except that now $-|I(q)-I(p)|^2$ measures the photometric similarity between the pixel at the neighborhood center p and that of a nearby point q. Thus, the similarity function s operates in the range of the image function f, while the closeness function c operates in the domain off [11]. σ_d and σ_r are parameters controlling the fall-off of weights in spatial and intensity domains, respectively, N(p) is a spatial neighborhood of pixel I (p), and C is the normalization constant:

$$C = \sum_{q \in N(p)} e^{\frac{-||q-p||^2}{2\sigma_d^2}} e^{\frac{-|I(q)-I(p)|^2}{2\sigma_r^2}} \quad (2)$$

In this paper we propose an algorithm which is able to remove noise by using mean deviation of pixels inside mask.

Proposed method

In this paper, we propose an image denoising method based on mean deviation. A digital image consists of pixels, which are neighbor to each other. Neighboring pixels are shown in Fig 1. Firstly, mean of pixels [$p_1 \ldots p_9$] are calculated by Eq.3.

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{1}^{n} p_i \quad (3)$$

where n is number of pixels which are inside the mask. In the next stage the distance of each pixel mean value gives how much the pixels are far from mean value see Eq.4.

$$d_i = |p_i - \mu| \quad (4)$$

P_1	P_2	P_3
P_4	P_5	P_6
P_7	P_8	P_9

Fig. 16. Neighboring pixels in an image.



a) b)

c) d)

Fig. 17. a) Original image, b) Noissy Image, c) Denoised with proposed algorithm, d) Denoised with Bilateral algorith

So d_i^{th} pixel has the minimum value is replaced with the target pixel. Eq. 5. In fact, the pixel which is closer to mean of pixel values is replaced with target pixel.

$$p_{center} = \bigwedge_i^n d_i \quad (5)$$

This operation is performed separately on each of the 3 channels.

Experimental results

The proposed algorithm is tested with the well-known Lena color image which shown in 0 (a). Proposed algorithm is compared with well-known bilateral filter [12]. As this method needs to predefined parameters, so that the two predefined geometric and photometric parameters are selected with regard to best PSNR value. The bilateral algorithm is tuned up by the author and it is tested by different geometric and photometric values. The range of tests for geometric (σ_d) is [1-10] and for photometric (σ_r) is [10-200]. The best result is obtained when the geometric value is "10" and the photometric value is 200. Fig 2. (b) show noisy Lena image which is contaminated with salt and pepper noise with 0.1 noise intensity. Fig 2. (c) Show denoised image with proposed method and Fig 2. (d) show denoised image with bilateral method. Fig 3 c. (a-c) show the noisy Lena image histogram for each color channel respectively and Fig 4. (d-f) show histogram of denoised Lena image with proposed method for each color channel respectively. The efficiency of proposed approach is evaluated by Peak signal-to-noise ratio (PSNR). PSNR is calculated by Eq. 7.

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{x=0}^{m-1} \sum_{y=0}^{n-1} [I(x,y) - K(x,y)]^2 \quad (6)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{R^2}{MSE} \right) \quad (7)$$

where I and K are the original and the filtered images, respectively and *m* and *n* are dimensions of images. *R* is the maximum possible pixel value of the image [3, 11]. The obtained PSNR value for proposed algorithm is 63.7029 and for bilateral algorithm is 55.3238 The best obtained PSNR value for bilateral algorithm is selected.

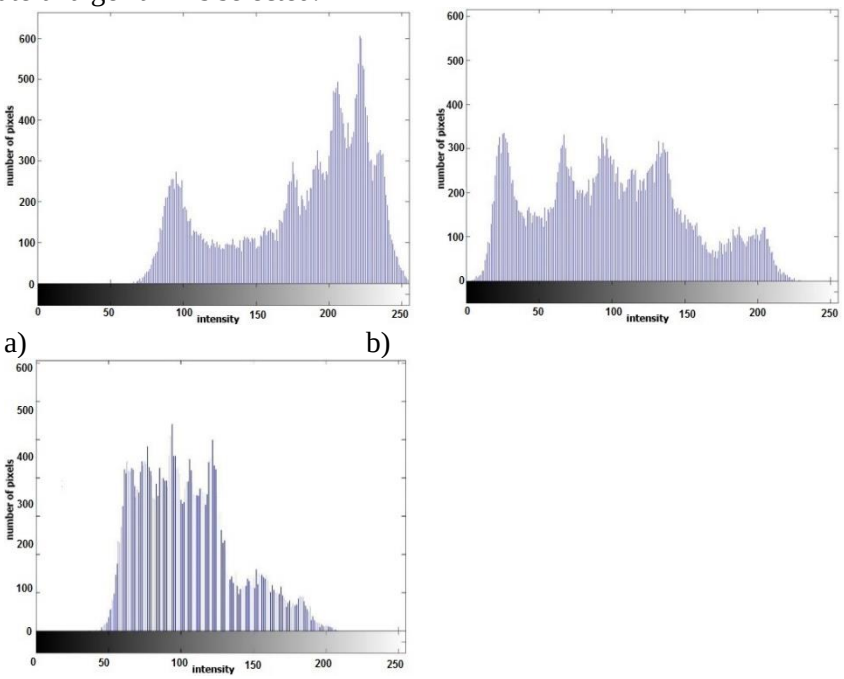
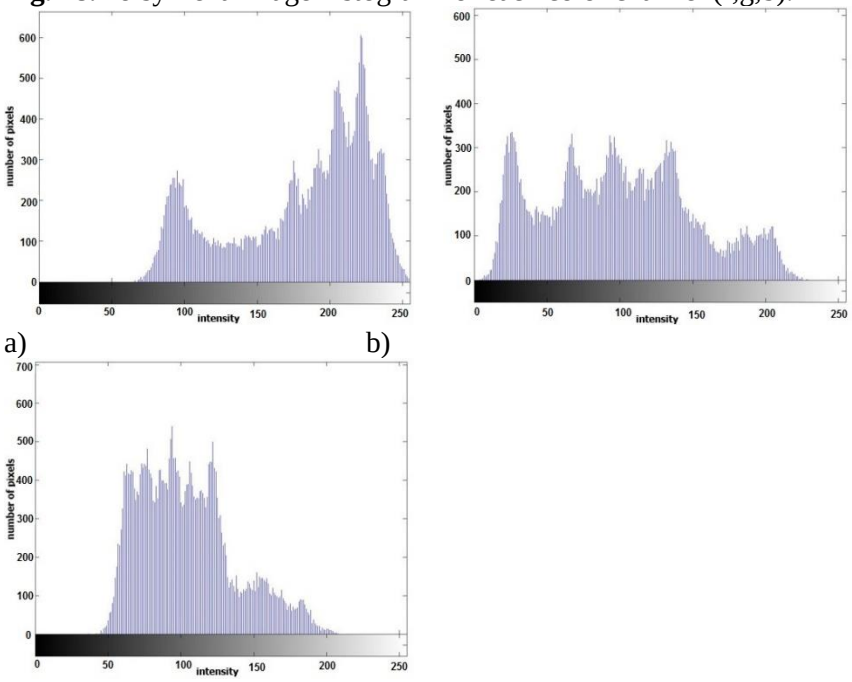


Fig. 18. noisy Lena image histogram for each color channel (r,g,b).



c)

Fig. 19. histogram of denoised Lena image for each cannel (r,g,b).

Conclusion

In this paper a new image noise reduction method based on mean deviation is proposed. In this method pixels which are closer to mean value are replaced with target pixel. Not only the numerical comparisons such as PSNR value but also the visual observations have been illustrated in the experimental results. The results show the proposed algorithm is effective on denoising the noisy images.

References

[1] G.-D. Zhang, X.-H. Yang, H. Xu, D.-Q. Lu, and Y.-X. Liu, "Image denoising based on support vector machine," in *Engineering and Technology (S-CET), 2012 Spring Congress on*, 2012, pp. 1-4: IEEE.

[2] M. Thilagavathi and P. Deepa, "An efficient dictionary learning algorithm for 3d Medical Image Denoising based on Sadct," in *Information Communication and Embedded Systems (ICICES), 2013 International Conference on*, 2013, pp. 442-447: IEEE.

[3] R. Demirci, "Fuzzy adaptive anisotropic filter for medical images," *Expert Systems,* vol. 27, no. 3, pp. 219-229, 2010.

[4] T. R. Farshi, "Image noise reduction method based on compatibility with adjacent pixels," *International Journal of Image and Graphics,* vol. 17, no. 03, p. 1750014, 2017.

[5] Y. Jianhua, F. Rong, and D. Wei, "A new algorithm of image denoising based on stationary wavelet multi-scale adaptive threshold," in *Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), 2011 International Conference on*, 2011, vol. 9, pp. 4550-4553.

[6] F. Zhang and K. Xie, "Regularization over-complete dictionary learning with application to image denoising," in *Intelligent Control, Automatic Detection and High-End Equipment (ICADE), 2012 IEEE International Conference on*, 2012, pp. 30-34.

[7] B. Zhang and J. P. Allebach, "Adaptive bilateral filter for sharpness enhancement and noise removal," *Image Processing, IEEE Transactions on,* vol. 17, no. 5, pp. 664-678, 2008.

[8] D. Koundal and S. Gupta, "Extended hybrid Mean-Median filter for image denoising," in *International Conference on Biomedical Engineering & Assistive Technologies*, 2014.

[9] H.-Y. Yang, X.-Y. Wang, T.-X. Qu, and Z.-K. Fu, "Image denoising using bilateral filter and Gaussian scale mixtures in shiftable complex directional pyramid domain," *Computers & Electrical Engineering,* vol. 37, no. 5, pp. 656-668, 2011.

[10] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," in *Computer Vision, 1998. Sixth International Conference on*, 1998, pp. 839-846: IEEE.

[11] Q. Huynh-Thu and M. Ghanbari, "Scope of validity of PSNR in image/video quality assessment," *Electronics letters,* vol. 44, no. 13, pp. 800-801, 2008.

[12] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," in *Sixth international conference on computer vision (IEEE Cat. No. 98CH36271)*, 1998, pp. 839-846: IEEE.

4D printed shape memory polymers and their applications

Meltem ERYILDIZ*[1,a]
[1]*Beykent University, Faculty of Engineering -Architecture, Department of Mechanical Engineering, 34398, Ayazağa Istanbul*

Abstract
4D printing can be defined as the fabrication of structures using smart materials that allow the final object to change its shape, properties, or function in response to an external stimulus such as light, heat, or moisture. The available technologies, materials, and applications have evolved significantly since their first development in 2013. They are used for actuators, smart devices, aesthetic primitives, smart textiles, and also in biomedical applications. The biomedical applications of 4D printing are explored with a focus on tissue engineering, drug delivery, and artificial organs. This study focuses on the currently available polymeric smart materials and fabricating of these structures. This paper is about the brief overview of the advanced materials for 4D printing and their applications.

Keywords: 4D Printing, Fused Deposition Modeling, Shape Memory Polymers

1. Introduction

Additive manufacturing (AM), otherwise known as three-dimensional (3D) printing, is a process where parts are generated layer by layer. Additive manufacturing technology, also known as 3D printing, had been around for decades and it has allowed users to fabricate custom 3D objects using computer software and computer aided design (CAD). 3D printing was first developed in the 1980s using the process of stereolithography, using UV lasers to cure layers of polymer into a 3D shape. 3D printing technologies can be successfully applied in numerous market segments: production of components with complex or custom geometry, design of new products, biotechnology and life sciences, leisure and free time (Barletta et al., 2021; Shie et al., 2019)

The emergence of a novel and innovative four-dimensional printing (4D Printing) had allowed us to use AM technology and programmable materials to transform digital information in the virtual world into physical objects in the physical world to provide innovation and unprecedented functionality. The Massachusetts Institute of Technology (MIT)'s Self-Assembly Lab was among the first to develop and demonstrate the possibility of 4D printing (Lee et al., 2017). Ever since then, the relative materials, 3D printers, stimulus mechanism, rules for innovative design and applications have been widely investigated and studied. 4D printing allowed an additional dimension to be added onto the three-dimensional object where the shape, property, or functionality can be changed as a function of time. Through the stimulus activation of light, humidity, pH, solvent, magnetism, electric response or tension/compression etc., the 3D printed static object can be converted into another predicable structure (Shie et al., 2019).

Over the past two decades, there have been many studies on shape memory materials, which are also known as "smart" materials. These materials have the capacity to change their shape or properties under the right stimuli. Metal alloys and polymers are the most popular of these materials, and have drawn a considerable amount of attention. The development of 3D-printable "smart" materials has driven 3D printing to another level, known as four-dimensional (4D) printing. 4D printing is a combination of 3D printing and the fourth dimension, which is time. This technique allows a printed object to be programmed to carry out shape change while adapting to its surroundings. This breakthrough technology is mainly fueled by the rapid development of smart materials and the latest progression of multi-material printing. Particularly due to the development of multi-material polymer printing, the 4D printing of polymers has been made possible, and more opportunities and applications await discovery (Lee et al., 2017).

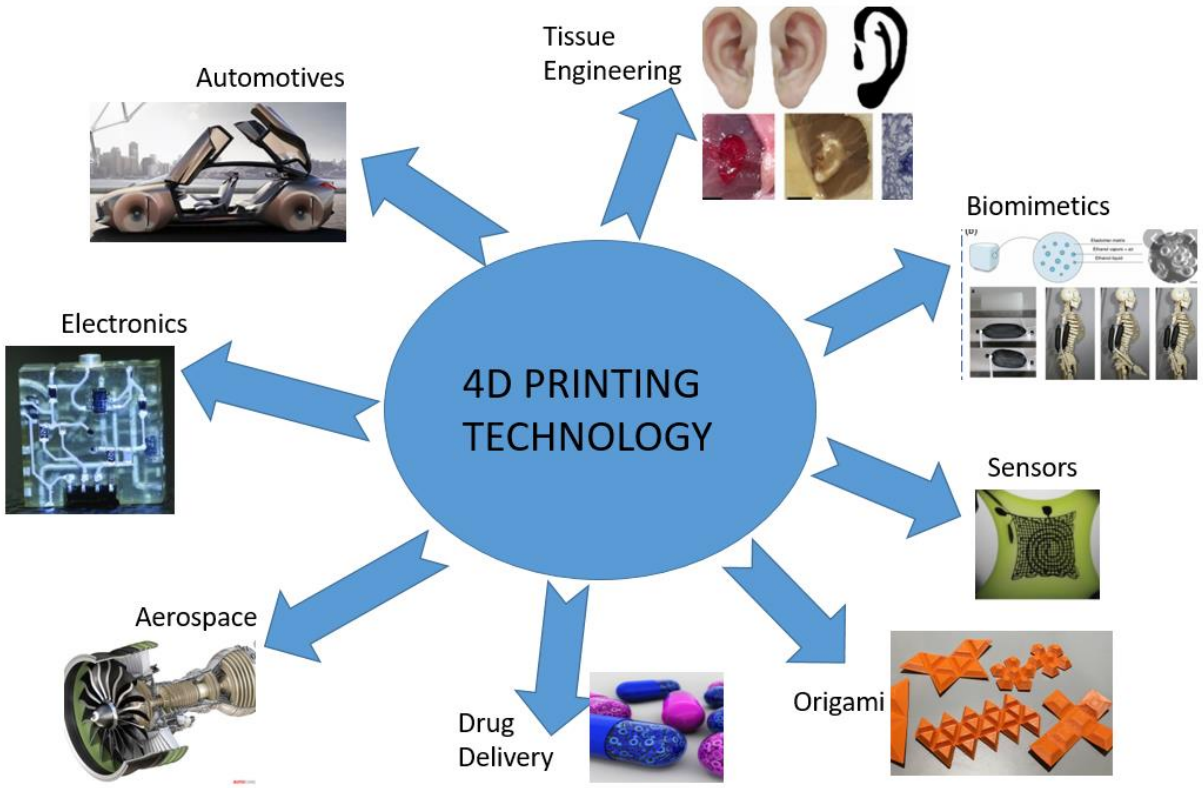


Figure 1. 4D printing technology and its applications

While 4D printing looks promising for many applications such as the packaging, medical, construction, and automotive fields shown in Figure 1, it is still a very raw and new technology with many challenges that require resolution. Significant issues include the development of shape memory materials that possess reversibility; the printability of shape memory materials, and especially reversible shape memory materials; and the repeatability of 4D printed objects. Reversibility is usually referred to as "two-way memory" because it gives the material two permanent shapes. Most current 4D printing demonstrations are one-way, which means that the devices must be reprogrammed after each recovery. Here, programming or reprogramming refers to the manual setting of a temporary shape. Adding reversibility into 4D printing will allow repetitive actuation and eliminate the need for reprogramming, which is time and labor consuming. Figure 2 depicts the effects of irreversible (one-way) shape memory and reversible (two-way) shape memory with heating and cooling as the stimuli. Repeatability, on the other hand, refers to the ability to repeat the entire cycle without fracture or significant change to the permanent shape (Lee et al., 2017).

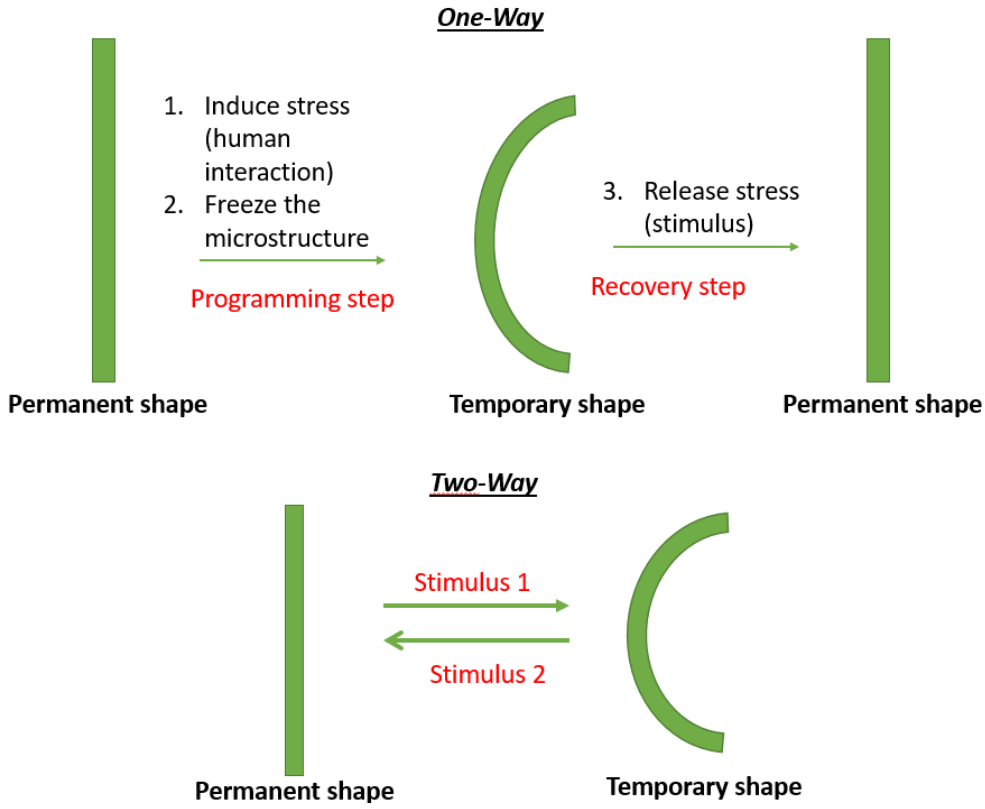


Figure 2. a) The process chain of an irreversible (one-way) shape memory effect; b) the process chain of a reversible (two-way) shape memory effect

The aims of this study are reviewing the shape memory materials that can be 3D printed, reviewing their reversibility, and their repeatability.

2. Fused Deposition Modeling

Additive manufacturing, otherwise known as three-dimensional (3D) printing, is a process where parts are generated layer by layer. 3D printing was first developed in the 1980s using the process of stereolithography, using UV lasers to cure layers of polymer into a 3D shape. There are currently many other forms of 3D printing available commercially, including selective laser sintering (SLS), laminated object modeling (LOM), and fused deposition modeling (FDM). FDM is a process in which a thermoplastic polymer is extruded layer by layer to create a 3D shape. A polymer filament is melted and extruded through a nozzle to create a cross section of the required part and each subsequent layer is fused onto the previous one until the part is complete (Figure 3). FDM has the advantage of being fast, low cost, easy to use and widely available. However, there are some limitations to the material compatibility and part geometry that can be produced using this method. 3D printers have a wide appeal and can be found in industrial plants, homes, offices, and academic institutions (Barletta et al., 2021; Raasch et al., 2015)

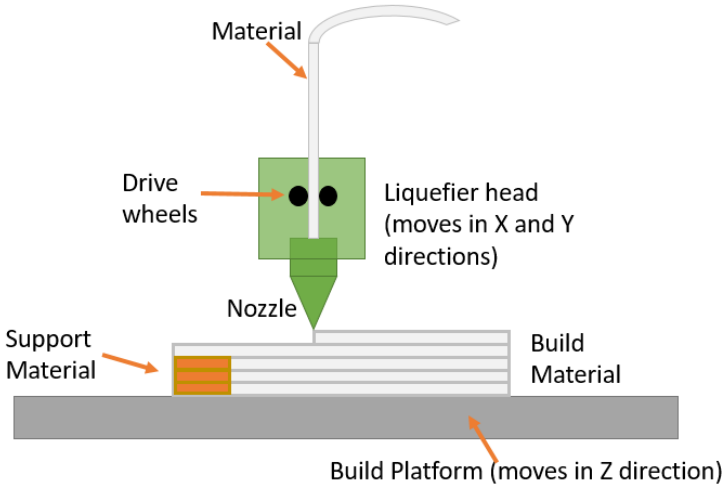


Figure 3. Schematic illustration of FDM

FDM also allows shape memory or shape shifting via a heating mechanism. Internal stress accumulates in the printed material, as heating and rapid cooling cycles occur during the fabrication process due to constraints of the platform or existing layers. After the completion of the printing, the internal stress is stored in the printed material for a long time, until the material is heated beyond glass transition (Tg). (Lee et al., 2017).

In general, FDM applied to the thermoplastics (ease mobilization of polymer chains above Tg due to chain slippage) and composites, e.g., ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene copolymer) based materials, polyurethane-based materials, polycarbonate (PC), polylactic acid (PLA), waxes, glass-filled polymers, etc. 90% of the FDM prototypes are made of ABS because they are 60–80% stronger than that of injection moulded ABS. Polycarbonate has got an abrupt growth in use as a prototype and higher fracture toughness and fatigue life than ABS. Polyphenylene sulfones, elastomers, and waxes also have found their way as a prototype in the FDM process. Fused Deposition Modeled structure has received widespread attention from biomedical applications (scaffolds, stents) to automotive and aerospace. Even though the layer by layer additive manufacturing fashion in FDM makes them an outstanding candidate for printing products or objects with biocompatibility and excellent mechanical strength but, the high temperature usage in FDM 3D printing process limits the encapsulation of biomolecules or cells in the scaffolds (Subash and Kansubramanian, 2020).

3. Shape Memory Polymers

More recently, by combining additive manufacturing technologies with the development of intelligent materials, it is possible to pursue the production of new 3D printable products that can, for example, change the shape or the volume when exposed to different stimuli, allowing to obtain so-called 4D objects. These objects possess, as such considerable application potential. For instance, shape memory polymers (SMPs) can dynamically change their shape by being exposed to different stimuli. SMPs are often 3D printed by FDM. The use of SMPs involves, as a first stage, the setting of a starting form. Subsequently, they can be fixed in a temporary form through the application of a permanent deformation by an external force. This second stage is called programming. After being programmed, SMPs can return to their permanent form by applying an external stimulus (third stage). The process can possibly be iterated. SMPs can generally be programmed using thermomechanical stimuli (Barletta et al., 2021).

The main idea is combination of FDM printing method with SMPs to create potentials in the design and development of adaptive materials. SMPs have capacity of retaining a temporary shape and recovering to original shape when subjected to environmental stimulus like heat (Bodaghi et al., 2017). To assign the temporary shape, a programming process is conducted. First, the SMP is heated above its glass transition temperature (Tg) and deformed to the desired temporary shape using a physical constraint. It is then cooled below Tg, while still applying the constraint, in order to fix the temporary shape. After

the part is cooled below the glass transition temperature the physical constraint is removed and the temporary shape is achieved. Upon reheating above Tg, the sample will recover its permanent shape. Once recovered, the sample will maintain its permanentshape until programming is conducted again (Raasch et al., 2015). Figure 4 displays a standard step-by-step thermo-mechanical protocol of programming for SMPs in the framework of a strain-temperature phase diagram. It starts at a strain/stress-free state at a low temperature less than transition temperature, $T=T_l<Tg$, where SMP is stable in a glassy phase. It is then heated above the transition temperature range, $T=T_h>Tg$ (step I). Next, SMP stable at rubbery phase is loaded mechanically to achieve a maximum strain, ε_m (step II). The strain is kept fixed and the material is cooled down to the low temperature, T_l, (step III). In this step, the rubbery phase gradually converts to the glassy phase memorizing inelastic strains. SMP is finally unloaded while a pre-strain remains in the material, ε_p (step IV). For the sake of activation, SMP is heated to the high temperature, T_h, that relaxes strain and recovers the permanent shape (step V). This is known as a free-strain recovery (Bodaghi et al., 2017).

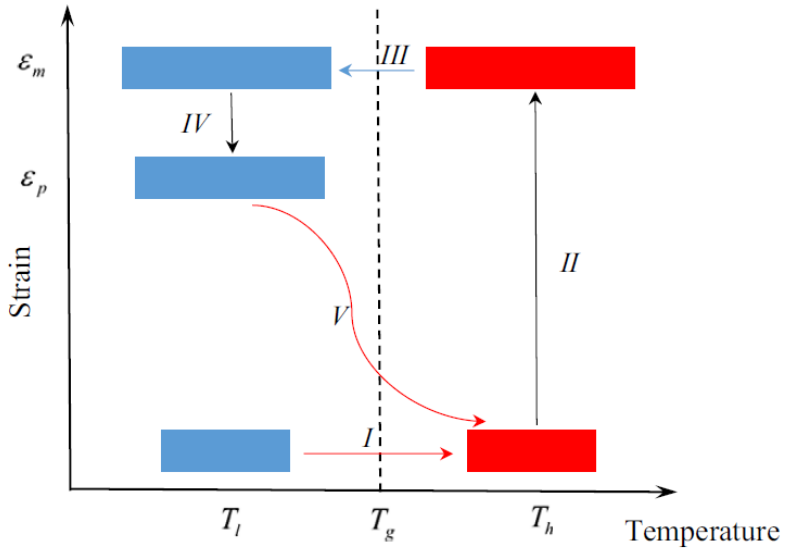


Figure 4. Schematic of the shape memory effect in the strain-temperature plane (Bodaghi et al., 2017).

Shape-memory polymers (SMPs) are smart materials that are able to recover strains on the order of 100% after being deformed from an original permanent shape to a temporary shape. Recovery must be activated by an appropriate stimulus such as heat, UV radiation, electric fields, or magnetic fields (Figure 5). When using heat as the applied stimulus, the material is referred to as at termo-responsive SMP. SMPs can either be thermoplastics or thermosets. Thermosetting polymers consist of a resin and a hardening agent, which when combined, cause polymerization and chemical cross-linking of the polymer chains. Once cured, a thermoset cannot be melted for recycling. Thermoplastic SMPs have no chemical cross-linking and can be melted and reformed numerous times (Raasch et al., 2015).

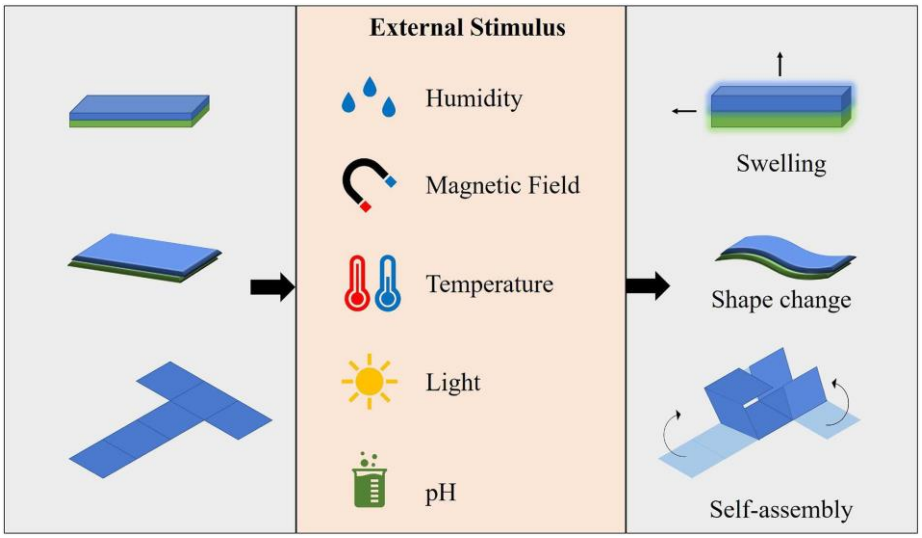
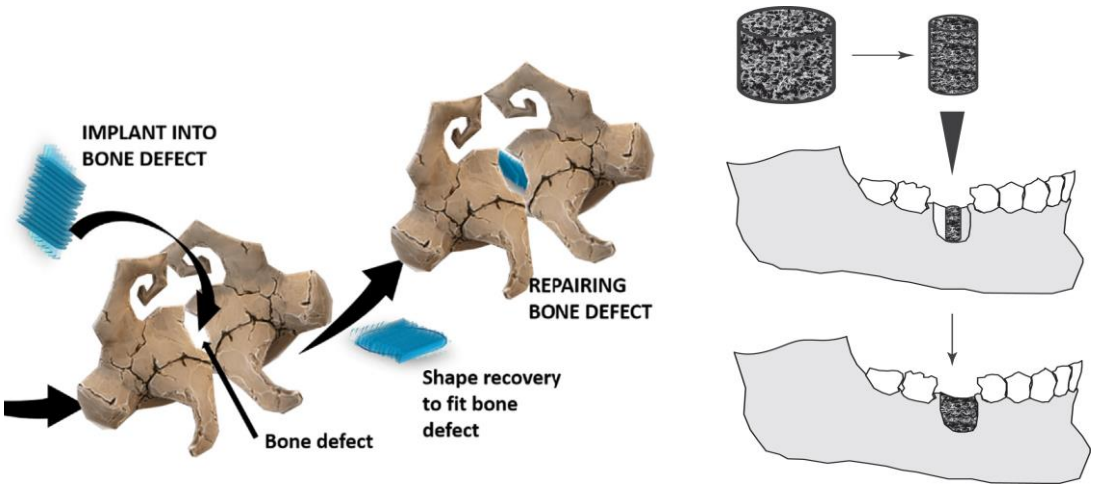


Figure 5. Types of stimuli, and responses observed in smart materials (Tamay et al., 2019)

SMPs are inexpensive, have low density, extensive deformability in the elastic field. In some cases, moreover, SMPs can be biodegradable, as well as be sensitive to numerous stimuli. To implement the transition between the various stages, it is not necessary to use complex electronic actuators. SMPs are often manufactured by 3D printing processes, thus giving rise to additive manufacturing technologies called 4D printing (Barletta et al., 2021). The production of SMP parts using 3D printing techniques has the potential to facilitate the production of smart materials in a variety of complex shapes that may not be possible or practical by more conventional manufacturing methods. For example, smart cardiovascular stents could potentially be created by 3D printing a biocompatible SMP material. A stent could be programmed in such a way that when it is implanted, the diameter is small, but recovers to a larger diameter upon heating to the internal body temperature (Figure 6). Such a device could be produced economically and rapidly using 3D printing methods, and could be customized based on the patient's needs. SMP shape filling capabilities could be exploited to fill critical-sized defects. An SMP scaffold could be radially compressed and fixed into a shape smaller than the defect size, the SMP could then be delivered to the defect site where it remains in its stable temporary shape, upon heating the SMP would recover and the scaffold expands to fill the defect site.



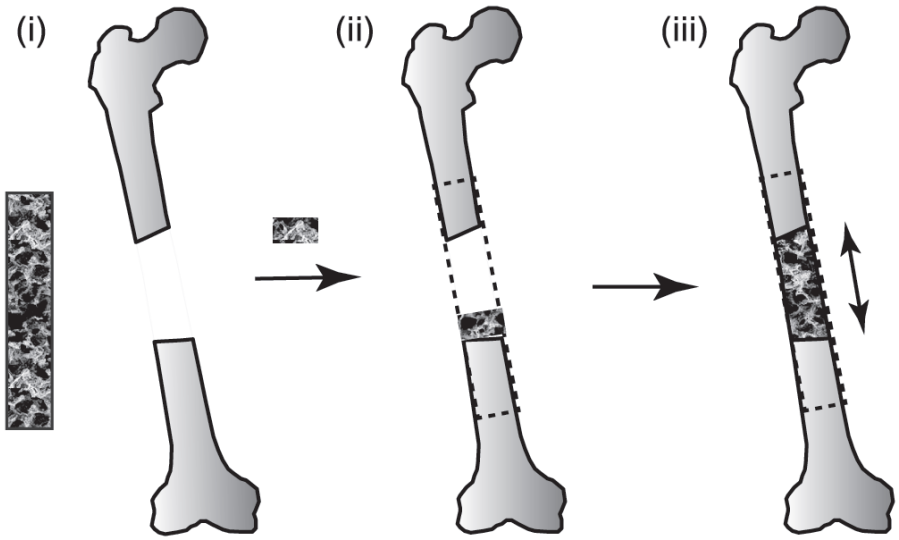


Figure 6. 4D printing of bone tissue based on shape memory mechanism, where the SMP scaffold transmutes their shape to occupy the void space, repairing the bone defect. (Subash and Kansubramanian, 2020; Henderson et al., 2014)

In previous studies, self-expanding polymer devices had been fabricated and tested in small animal models. The results showed that mechanical stretch or elongation provided by the SMPs were able to promote growth of intestinal tissues that were proven to have similar characteristics as native tissues (Figure 7) (Shie et al., 2019).

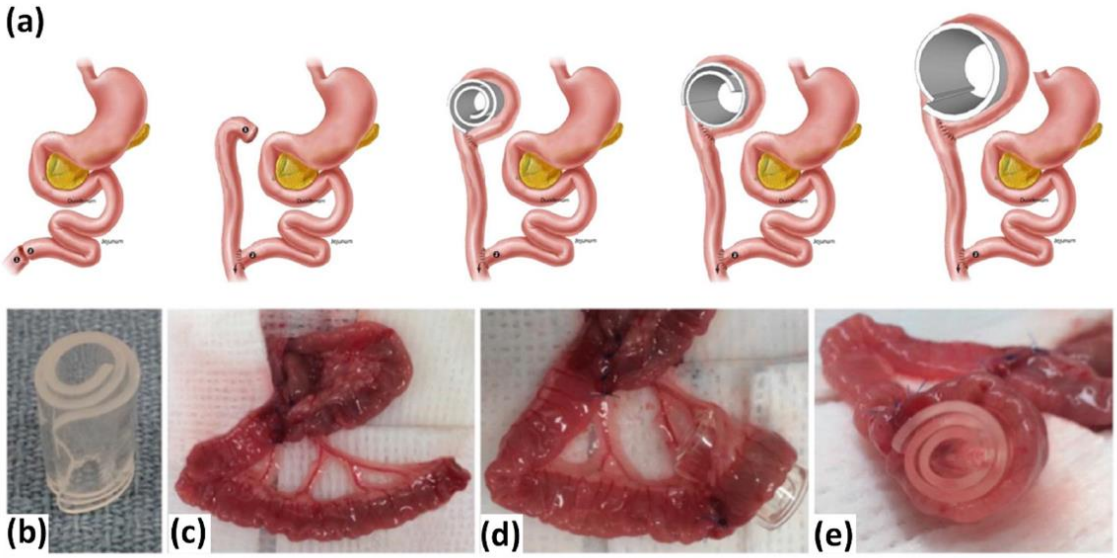


Figure 7. (a) The schematic for experimental animals (over 7 days); creation of Roux-en-Y limb, placement of cylindrical coil and radial expansion. (b) The image of radial expanding shape memory polymer device and (c) the end of Roux limb. (d) and (e) The device placed and wrapped by Roux limb (Shie et al., 2019)

In practice, however, the use of 3D printing for the production of SMP-based parts is currently limited. One of the few studies involving 3D printing of SMP materials primarily focuses on combining SMP fibers in an elastomeric matrix to create smart hinges that can be programmed to bend to specified angles based on strain mismatch between the fibers and matrix under an applied stimulus. This approach proved successful in creating origami-like structures capable of folding and unfolding into specified shapes as shown in Figure 8 and Figure 9. The material used was a hydrophilic polymer that swells in water and expands up to 150%. In this case, the researchers used a rigid material as the framework and programmed

the smart material to act as a hinge for the object. Only the smart material section (the hinge) actuated when the object was submerged in water (Lee et al., 2017; Raasch et al., 2015).



Figure 8. Folding of an unpacked cube with hinges composed of a smart hydrophilic polymeric material; when submerged in water, the smart material actuates and the object folds into a cube

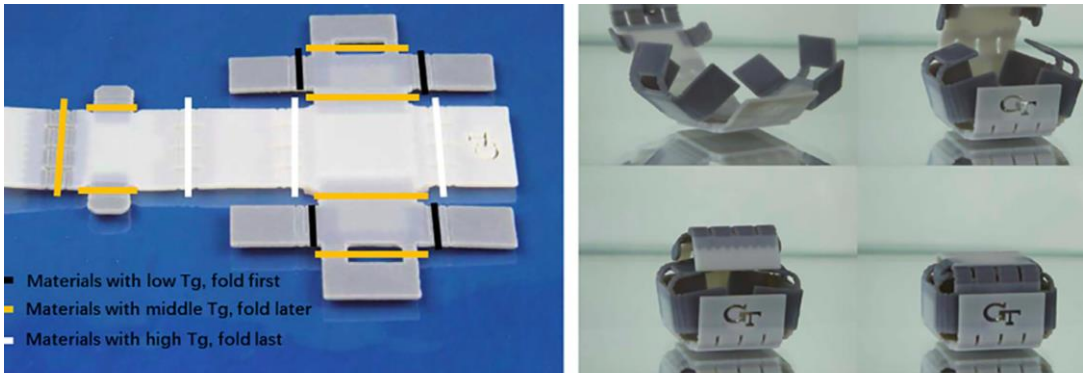


Figure 9. (a) The image of 3D printed self-folding box that combined different materials at different hinges. (b) The schematic diagram of a self-locking with a different external environment upon heating (Shie et al., 2019)

In addition, Mao et al. (2016) used a composite material as a hinge to successfully design and print a reversible ladder (Figure 10). This design uses the hydrogel swelling property as the driving force for the shape change as the ladder was reported to be able to bear 50 g of pressure at room temperature.

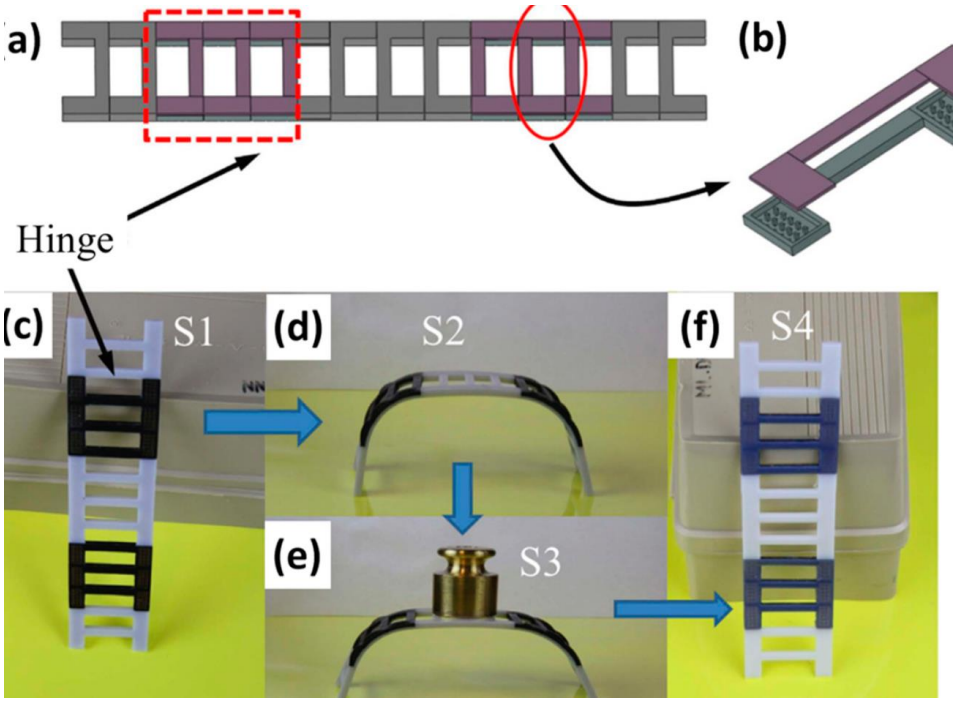


Figure 10. (a) The design of the ladder with two hinges. (b) Each hinge contains a reversible component. (c) The printed ladder. (d) After swelling for 10 h in low temperature water, it was bent into a bench shape, then heated to 75 C, and then cooled to room temperature. (e) The bench is hard and can withstand a load of 50 g. (f) When the bench is placed in high temperature water (75 C), the curved shape is restored. The scale bars represent 20 mm (Mao et al., 2016)

Controlled drug release pharmaceutical material is the newest concept of functionalities of SMP and this concept is depicted in Figure 11. Such drug delivery devices allowed us to facilitate and control the duration of drug release such as through a quick release or delayed release of drugs (Wischke et al., 2009)

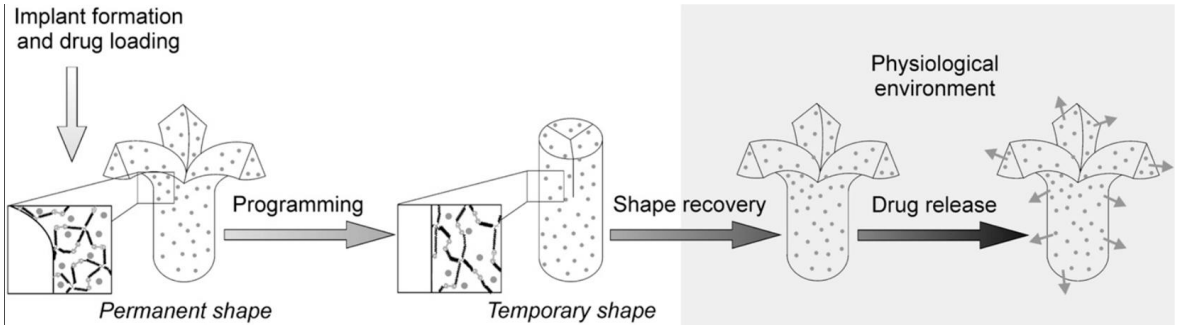


Figure 11. The concept of shape recovery, programming, and drug release of drug loaded SMP devices (Wischke et al., 2009)

Ge et al. (2016) used the 4D printing technique to create multi-material structured smart gripper. They fabricated shape memory structures using photo-curable methacrylate copolymer resin as a printing material on an additive manufacturing apparatus which is based on projection microstereolithography (PμSL). The printed multi-material structure (Figure 12) is activated on the application of heat and can be used as micro grippers in drug delivery system (Rayate and Jain, 2018).

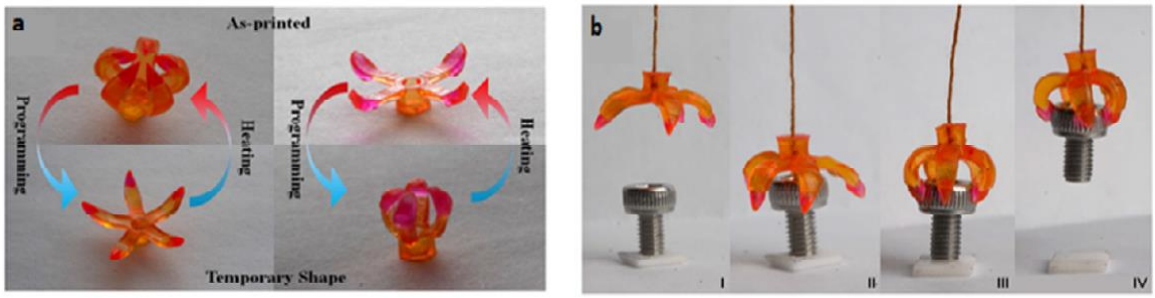


Figure 12. a) Shape changing characterization from printed structure to temporary shape b) Stepwise activated smart gripper used for lifting the bolt. (Ge et al.,2016)

Lendlein and Langer, (2002) introduced a biodegradable smart thermoplastic suture which can be first stretched outside the body at a controlled force and then tied inside the wound and finally shrunk and tightened at body temperature (Figure 13).

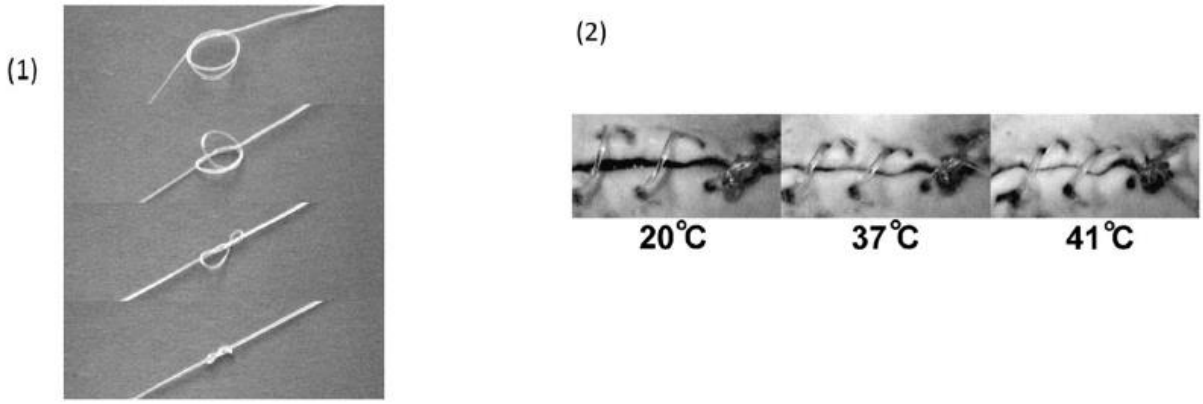


Figure 13. Applications of SMP-based medical devices: (1) tightening the biodegradable suture when heated up to 40℃, (2) wound closure in animal experiment

Figure 14 shows a scaled Eiffel Tower and a bird which were repeatedly cycled through different temporary shapes by changing the environmental temperature. Both figures illustrate the resolution and type of complex structures that can be obtained with this approach (González-Henríquez et al., 2019).

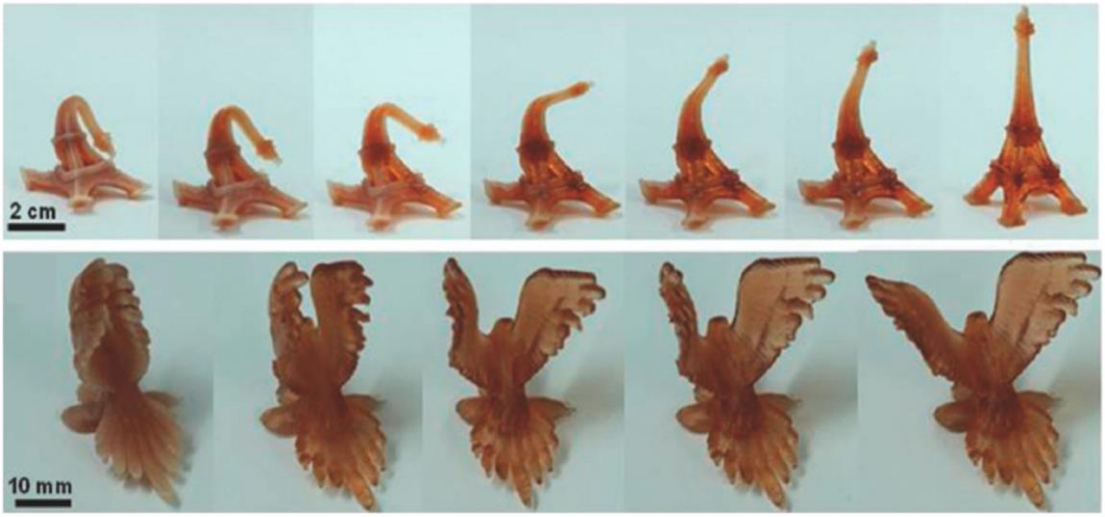


Figure 14. Examples of a heat reactive SMP that reverts to its original shape when exposed to 70℃ for an Eiffel Tower model and a bird (González-Henríquez et al., 2019)

Staples that made up with SMP can shrink to achieve the most suitable locked state by applying certain stimuli on it, which can meet different needs of sizes with just only one dimension. The SMP staples are able to exert gentle force for wound closure. The self-locking function of SMP staple has been successfully demonstrated in vitro (Figure 15). (Huang et al., 2013).

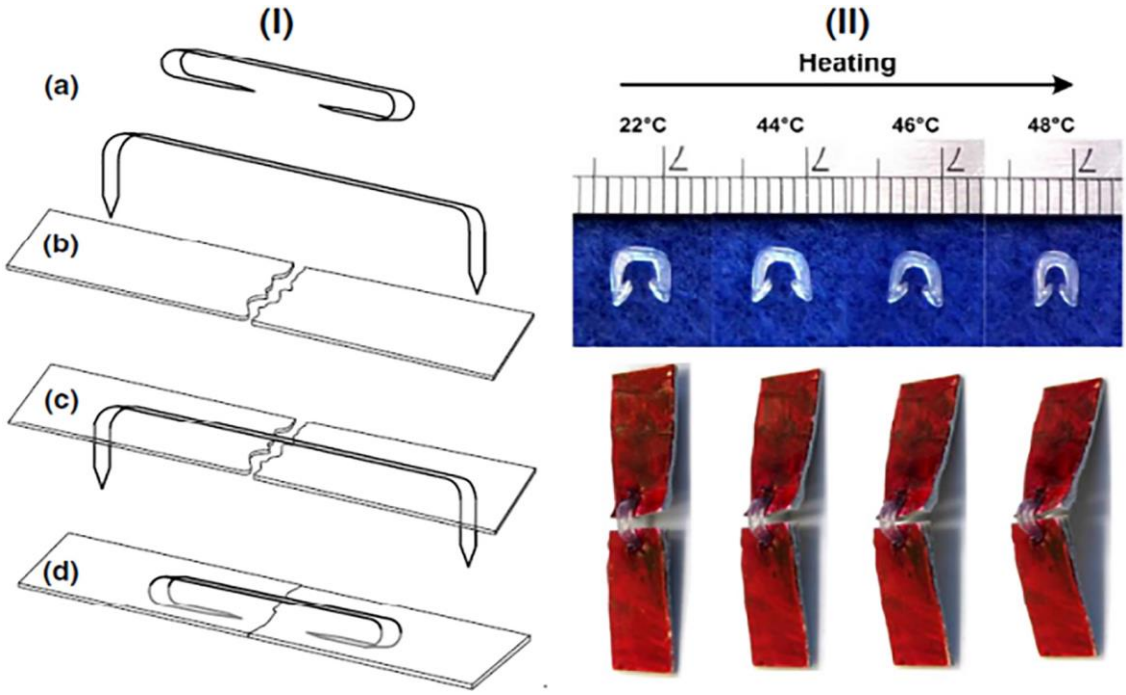


Figure 15. Self-tightening staple based on shape memory PLA (I) concept. (a)–(d) Working principle of self-tightening staple (II) evaluate of self-tightening staple by bringing two pieces of tissue closer

In addition, a biodegradable spiral stent based on PLA has been developed. Once the spiral stent was heated to body temperature, it would recover its original shape. Its function of instant removal was verified by experiment in vitro (Figure 16) (Zhao et al., 2019).

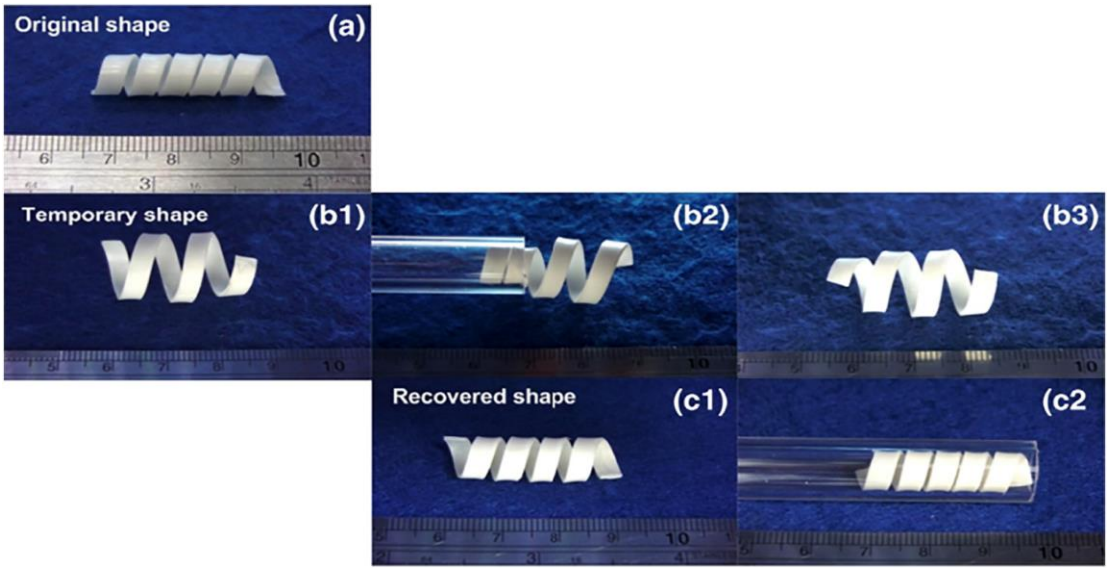


Figure 16. Demonstration of instant removal of a PLA stent. (a) Original state, (b1) temporary state, (b2) push out of tube, (b3) deployed, (c1) shape recovery and (c2) back into tube (Zhao et al., 2019)

A shape memory polymer wire which can provide more stable recovery force for teeth and can be last for three months at 50 °C for orthodontic application was prepared by Jung and Cho (2010). It was found that this shape recovery force was sufficient to correct misaligned teeth in the orthodontic test. The shape

memory PU wire (Figure 17) possesses strong potential as a novel orthodontic appliance with esthetically appealing appearance.



Figure 17. Arch wire based on shape memory polymer installed in a dental model (Jung and Cho, 2010).

4. Future Prospect and Conclusion

The 4D printing technology, along with SMP's, opened up a new era triggering the research domain with their exceptional advantages introducing a mystical world with the facile fabrication of sophisticated intelligence and enormous application. 4D printing is an art that combines science and engineering techniques and has attracted a lot of interests due to its unique ability to have structural or functional transformations over time in response to external stimuli. The scientific aspects of 4D printing involve the development of basic research in mathematical modeling and new smart materials. As technology advances, printing methods, software programs, new materials and machines are constantly being developed and improved. 4D printing arises as a new technology that utilizes smart materials to design structures not only with the ability to transform in response to external stimuli, but are also predictable and can be easily monitored. This allows smart printing to be used in a variety of fields. Such as robotics, biomimetics, origami, electronics, textile and biomedical. The concordance of self-healing, self-reparability, and origami can ameliorate adaptability in biomedical (artificial organs, artificial muscles, bone cement, or drug delivery), electronics, rockets, satellites, outer space researches, etc. The significant increase in cellular metabolism as well as cell proliferation on the materials are the perfect indications of having good cytocompatibility, making them good candidates for tissue engineering. In addition, many shape memory nano-composites are being developed to upgrade the electrical response and conductivity in neural cells. Additive manufacturing is still a growing industry and the continuous exploration of new materials have led to significant improvements in the field of 4D printing. New technology provides feasible methods to fabricate compact deployable structures. However, new smart materials for 4D printing will be the key factor for its advanced applications not merely for medical but also for commercially available products in the future. In conjunction with the development of new smart materials and additive manufacturing technologies, potential applications for the 4D printing process can be maximized in the future, and 4D printing is expected to be of great benefit in the future. (Shie et al., 2019; Subash and Kansubramanian, 2020).

References

Barletta, M., Gisario, A., & Mehrpouya, M. (2021). 4D printing of shape memory polylactic acid (PLA) components: Investigating the role of the operational parameters in fused deposition modelling (FDM). Journal of Manufacturing Processes, 61, 473-480. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.11.036

Bodaghi, M., Damanpack, A.R., and Liao, W.H. (2017). Adaptive metamaterials by functionally graded 4D printing. Materials and Design, 135, 26-36. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.08.069

Ge, Q., Sakhaei, A., Lee, H., Dunn, C.K., Fang, N.X., Dunn, M.L. (2016). Multimaterial 4D Printing with Tailorable Shape Memory Polymers. Sci Rep 6, 31110. https://doi.org/10.1038/srep31110

González-Henríquez, C., Sarabia-Vallejos, M., & Rodríguez-Hernández, J. (2019). Polymers for additive manufacturing and 4D-printing: Materials, methodologies, and biomedical applications. Progress in Polymer Science, 94, 57-116. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.03.001

Henderson, J.H., Davis, K., & Baker, R. (2014). Applications of shape memory polymers (SMPs) in mechanobiology and bone repair, P. Dubruel, S.V. Vlierberghe (Ed.s), Biomaterials for Bone Regeneration, Woodhead Publishing, 111-146. https://doi.org/10.1533/9780857098104.1.111.

Huang, W. M., Song, C. L., Fu, Y. Q., Wang, C. C., Zhao, Y., Purnawali, H., Lu, H. B., Tang, C., Ding, Z., & Zhang, J. L. (2013). Shaping tissue with shape memory materials. Advanced drug delivery reviews, 65(4), 515–535. https://doi.org/10.1016/j.addr.2012.06.004

Jung, Y. C., & Cho, J. W. (2010). Application of shape memory polyurethane in orthodontic. Journal of materials science. Materials in medicine, 21(10), 2881–2886. https://doi.org/10.1007/s10856-008-3538-7

Lee, A. Y., An, J., & Chua, C. K. (2017). Two-Way 4D Printing: A Review on the Reversibility of 3D-Printed Shape Memory Materials. Engineering, 3(5), 663–674. https://doi.org/10.1016/J.ENG.2017.05.014

Lendlein, A. and Langer, R. (2002). Biodegradable, elastic shape-memory polymers for potential biomedical applications. Science (New York, N.Y.), 296(5573), 1673–1676. https://doi.org/10.1126/science.1066102

Mao, Y., Ding, Z., Yuan, C., Ai, S., Isakov, M., Wu, J., Wang, T., Dunn, M. L., & Qi, H. J. (2016). 3D Printed Reversible Shape Changing Components with Stimuli Responsive Materials. Scientific reports, 6, 24761. https://doi.org/10.1038/srep24761

Raasch, J., Ivey, M., Aldrich, D., Nobes, D.S. and Ayranci, C. (2015). Characterization of polyurethane shape memory polymer processed by material extrusion additive manufacturing, Additive Manufacturing, 8, 132-141, https://doi.org/10.1016/j.addma.2015.09.004.

Rayate, A. and Jain, P.K. (2018). A Review on 4D Printing Material Composites and Their Applications, Materials Today: Proceedings, 5(9), 20474-20484. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.424.

Shie, M. Y., Shen, Y. F., Astuti, S. D., Lee, A. K., Lin, S. H., Dwijaksara, N., & Chen, Y. W. (2019). Review of Polymeric Materials in 4D Printing Biomedical Applications. Polymers, 11(11), 1864. https://doi.org/10.3390/polym11111864

Subash, A. and Kandasubramanian, B. (2020). 4D printing of shape memory polymers, European Polymer Journal, 134, 109771. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2020.109771.

Tamay, D. G., Dursun Usal, T., Alagoz, A. S., Yucel, D., Hasirci, N., & Hasirci, V. (2019). 3D and 4D Printing of Polymers for Tissue Engineering Applications. Frontiers in bioengineering and biotechnology, 7, 164. https://doi.org/10.3389/fbioe.2019.00164

Wischke, C., Neffe, A. T., Steuer, S., & Lendlein, A. (2009). Evaluation of a degradable shape-memory polymer network as matrix for controlled drug release. Journal of controlled release : official journal of the Controlled Release Society, 138(3), 243–250. https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2009.05.027

Zhao, W., Liu, L., Zhang, F., Leng, J., & Liu, Y. (2019). Shape memory polymers and their composites in biomedical applications. Materials science & engineering. C, Materials for biological applications, 97, 864–883. https://doi.org/10.1016/j.msec.2018.12.054

Experimental Investigation of Vibration Behavior of E-glass/epoxy and S2-glass/epoxy Composite Structures

Mehmet UYAR*[1,a]
[1]*Bayburt University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, 69010, Bayburt*

Abstract

In this study, the vibration characteristics of composite structures are experimentally examined by using modal analysis. The composite structures used in the experiments made of E-glass/epoxy and S2-glass/epoxy materials with 4 and 6 layers, respectively. Experimental modal analysis of the composite structures is performed under fixed-free boundary conditions to find the undamped natural frequencies and damping coefficients. Firstly, impact test is applied to the composite structures. The displacement vibration responses at free end are measured by using laser displacement sensor. Then, Fast Fourier Transform (FFT) is taken by using the displacement responses in order to find the natural frequencies. Damping coefficients are found from the vibration responses with logarithmic decrement equation. The dynamic properties of the composite structures are presented with different physical properties.

Keywords: E-glass/epoxy and S2-glass/epoxy Composite Structures, Experimental Modal Analysis, Dynamic Properties

1. Introduction

Composite structures are generally used in real-world applications such as aerospace, automotive, marine, military and robotic etc. It is important to determine the vibration properties of composite structures according to their usage areas. Therefore, researchers have realized the works on the natural frequency and damping ratios that determine the vibration characteristics of the composite structures. Modal analysis is theoretically and experimentally realized to find the natural frequency of the composite structures (Kranjc et al., 2013; Wang and Cheng, 2011). The theoretical and experimental studies for modal analysis of composite structures are summarized below.

Theoretical and experimental modal results for carbon-epoxy composite structure with orientations of 0°, 30°, 45°, 60° and 90° are presented by Oliveira et al., 2016. Modal analysis is numerically studied to identify the dynamic characteristics of polymer composite structures in contact with water (Kwon and Plessas, 2014; Kwon et al., 2013). Experimental and theoretical studies for composite plates and beams are performed to measure the mode shapes (Kwon et al., 2013). In the experimental modal analysis, the vibration response of the composite structures to the impact excitation is measured by using signal analysis and then, performed modal analysis by applied Fast Fourier Transform (FFT) to the signals (Fu and He, 2001). After, numerical modal analyses are achieved to verify the experiments and investigate the dynamic behaviors of composite structures. The boundary conditions, fiber angle orientation and stacking sequence of laminates of the laminated composite sandwich structures investigate the influences on natural frequencies and mode shapes. Also, vibration analysis of laminated composite structure is presented using finite element analysis (Nikhil et al., 2018). Howsen and Zare, 2005 used higher order equation to find the natural frequency of unequal faceplate thickness layered composite structure.

Modal analysis of composite structure for single orientation is done by using ANSYS and MATLAB software. Also, Guru Raja and Hari Rao, 2013 reported the experimental results of composite structures produced from different Kevlar, glass fiber and epoxy laminates with different fiber angle orientation. Banerjee et al., 2007 studied the vibrational characteristics of unequal thickness sandwich structure designed all layers of composite structure by utilizing Timoshenko Beam Theory. Because the operating environment of the composites is important, the composite structures under different boundary condition are studied with different ply angle orientations (Nayak, 2008). Nayak, 2008 presented that the vibration characteristics of the

composites obtained better when fixed with all its edges. Alexander and Augustine, 2015 studied the vibration characteristics of composite structures produced Basalt/epoxy material. According to them, these BFRP and CFRP composite structures have better vibration properties because of the high damping coefficients. These materials are generally used in aerospace and defense applications. Therefore, the dynamic and damping properties of these materials are very important. Vibration analysis of Magneto-rheological fluid core composite structure are compared by Sun et al., 2003 with the analytical and experimental analysis. Hybrid laminated composite structure which occur from a viscoelastic core is studied to determine the vibration characteristics of the system by Nikhil et al., 2018.

In the literature, various researchers are conducted in the areas of dynamic behavior of composite and rotating structures. Garinis et al., 2012 proposed the new modeling method to determine the natural frequencies of the composite rotor blade. Jun et al., 2008 reported the results of natural frequencies of the composite beams.

This paper aims to determine the natural frequencies and damping coefficients of the E-glass/epoxy and S2- glass/epoxy composite structures experimentally. Experiments are performed under fixed-free boundary conditions of the composite structures. Firstly, the vibration responses of the composite structures to the impact excitation are measured. Then, experimental modal analysis is realized by applied the FFT to the vibration responses. As a result, within the experimental modal analysis, it is examined the influences on the natural frequency and damping coefficients of the different physical properties of the composite structures.

2. Experimental Method

The composite structures considered in this study, which are produced from S-2 glass/epoxy and E-glass/epoxy materials, are given in Figure 1.

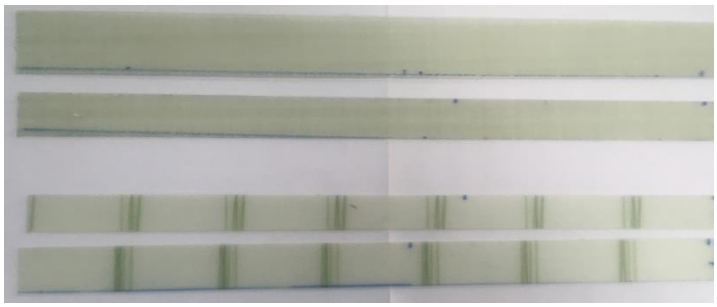


Figure 1. S2-glass/epoxy and E-glass/epoxy composite structures

Composite structures have 1 mm in width and different lengths. The configuration and dimensions of the composite structures are given in Table 1.

As seen from Table 1, seven different composite structures with three E-glass/epoxy and four S2-glass/epoxy composite structures are studied in this study. E-glass/epoxy composite plates are produced from a symmetric laminated epoxy-glass material and its orientation are specified as [0/90/0/90] for each layer. S2-glass/epoxy composite structures are occurred from S2-epoxy-glass composite materials with orientation of [0/0/0/0/0/0] and 6 lay-ups.

Table 1. Numerical values of composite structures

Composite structures	Type	Dimensions, mm3	Orientation	Layer
E-1	E-glass/epoxy	360x28x1	[0/90/0/90]	4 lay-ups

E-2		225x28x1		
E-3		390x42x1		
S2-1	S2-glass/epoxy	360x25x1	[0/0/0/0/0]	6 lay-ups
S2-2		225x25x1		
S2-3		360x31x1		
S2-4		200x31x1		

This study aims to determine the dynamic properties such as the natural frequency and damping coefficients. The vibration properties of the composite structures are investigated under fixed-free boundary condition. The dynamic behavior of composite structures can be determined with modal analysis. In this study, experimental modal analysis is realized to find the natural frequencies of the composite structures. For the experimental modal analysis, the experiment system is established by using an Impact Hammer, Laser displacement sensor (LDS), data acquisition card and computer. Experimental and measurement system is shown in Figure 2.

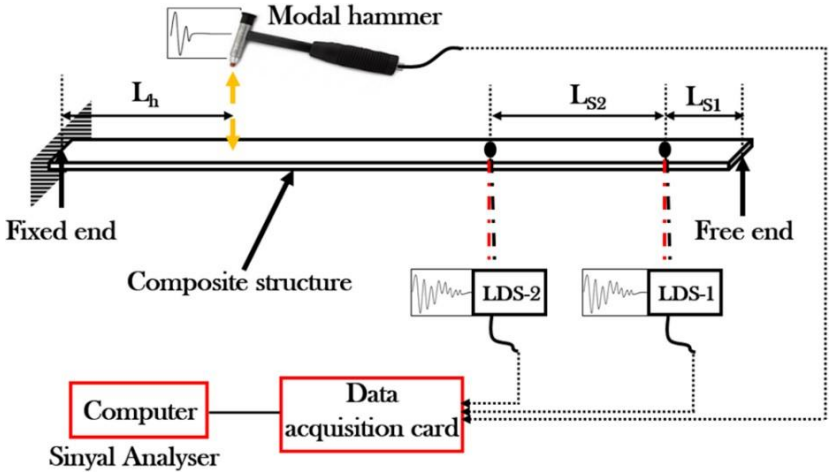


Figure 2. Measurement setup

In the experimental system, Impact Hammer is used to excite on one point to another in composite structures. LDS is utilized to measure the displacement signals and to record to the computer via the data acquisition card. The LDS sensors are placed in two different locations to measure displacement signals from two different locations. One of the LDS Sensors (LDS-1) is placed at distance of LS1 from the end point of the composite structures, and the other LDS sensor (LDS-2) was located at distance of LS2 from the LDS-1 sensor. LS1 and LS2 is selected as 40 mm and 200 mm, respectively. The experimental modal analysis is realized with the Signal Analyzer in the computer using the measured displacement signals.

The experimental modal analysis is performed by using the displacement signals to find the natural frequencies and damping coefficients. In order to achieve the experimental modal analysis, briefly, the composite structure is stimulated with the impact hammer. Vibrations at the end point of the composite structures are measured with the LDS sensor through the LDS controller. The resulting displacement signals are recorded to the computer with the data acquisition card. Then, in order to obtain the frequency response, the natural frequencies of the system are obtained by applying Fast Fourier Transform (FFT) to the displacement signals. Experimental modal analysis results are obtained using the frequency response.

3. Results

The experimental modal analysis is conducted to determine the natural frequencies and damping coefficients of the different combinations of the two different composite structures. The natural frequencies are found by using the modal analysis based on the FFT frequency response. For the E-glass/epoxy composite material with dimensions of 360x28x1 mm^3, example vibration and frequencies responses are shown in Figure 3.

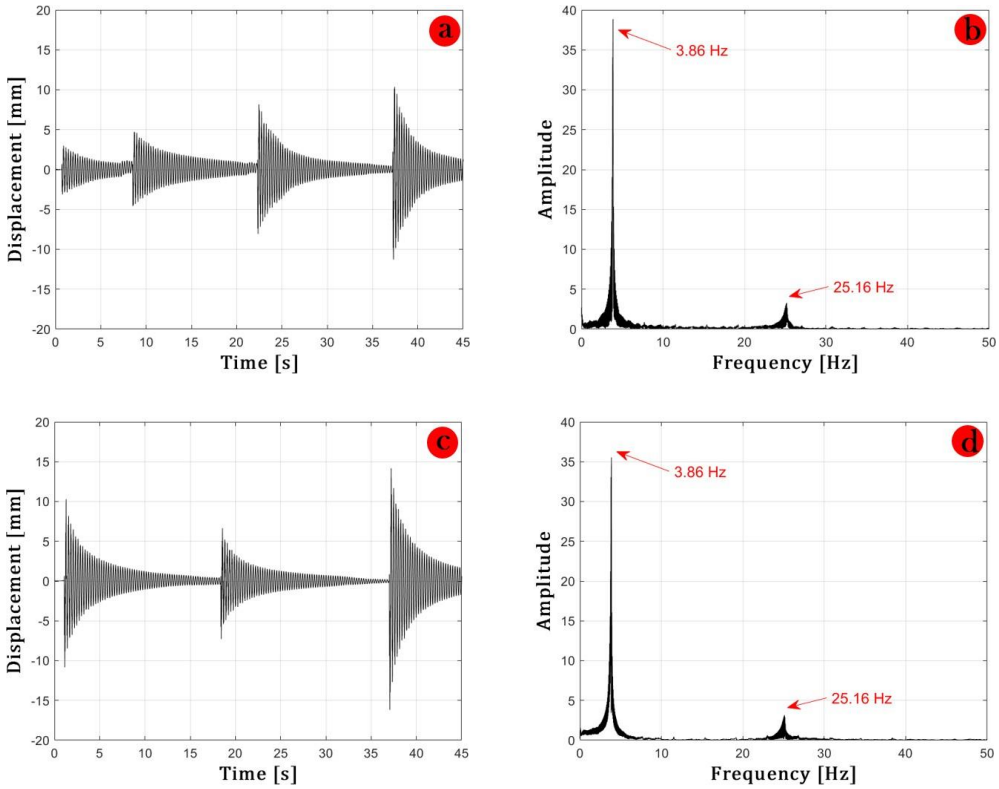


Figure 3. Vibration and frequency responses for E-glass, (a-b) LDS-1, and (c-d) LDS-2 sensor points

Figure 3 shows the vibration responses at tip point and frequency responses for E-1 composite structure for the LS-1 and LS-2 sensor points. First two natural frequencies are obtained as 3.86 Hz and 25.16 Hz. The same natural frequencies for the composite structures are found for two different LDS sensor points. The natural frequencies for all combinations of the composite structures are found and listed in Table 1. In order to determine the damping coefficients of the composite structures, logarithmic decrement method is used. Firstly, the damping rate in the amplitudes of vibration response can be measured with the parameter called as logarithmic decrement. Also, rate of decay in the vibration amplitudes depends on the damping ratio in the system. Briefly, logarithmic decrement represents the rate at which the amplitudes of vibration response reduce.

The logarithmic decrement is found by obtaining the peak values of the displacement signals shown in Figure 4.

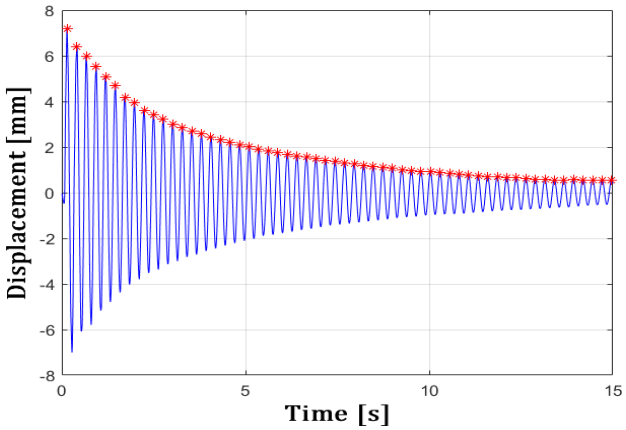


Figure 4. Example Logarithmic decrement response

As seen from Figure 4, the peak values of example displacement signal are obtained by using MATLAB. Then, the logarithmic decrement value is calculated by substituting these peak values into the logarithmic decrement equation given in Eq. 1.

$$\delta = \frac{1}{n} \ln \left[\frac{x_1}{x_{n+1}} \right] \quad (1)$$

Where, n is the number of peak values, x1 and xn+1 is defined as first and last peak values, respectively. Also, δ denotes as the logarithmic decrement. Then, the damping ratio of the system is found by using the logarithmic decrement value given in Eq. 2.

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}} \quad (2)$$

Where, ζ is the damping ratio value of the system. Accordingly, damping ratios for each composite structure are calculated given in Eq. 2. The vibration behavior of the system can be defined with the natural frequencies, damping ratio and Rayleigh damping coefficients. Rayleigh damping, which is used to model the structural damping for mechanical systems, uses a system damping matrix [C] given as

$$[C]=\alpha[M]+\beta[K] \quad (3)$$

Where, α, and β, is the mass and stiffness proportional Rayleigh damping coefficients, respectively. [M], and [K] is defined as the structural mass and stiffness matrix of the system. With following equation, Rayleigh damping is proportional to different damping ratios for different natural frequencies of the system.

$$\zeta_n = \frac{\alpha}{2\omega_n} + \frac{\beta\omega_n}{2} \quad (4)$$

Where, ωn is defined as nth natural frequency of the composite structures. According to the natural frequency and the characteristic of each vibration mode, the different calculation methods of Rayleigh damping coefficients can be proposed (Song and Su, 2017). We can use the traditional method which the first two natural frequency are used to find Rayleigh damping coefficients. In this method, it assumes that low-order vibration modes contribute highly to system dynamic responses. Using the first two natural frequencies and damping ratios, two equations with two unknowns are obtained in order to calculate Rayleigh damping coefficients. Then, mass α and stiffness β coefficients are found by using these equations. For the experimental investigation of vibration behavior of the composite structures, the natural frequencies, damping ratios and Rayleigh damping coefficients given in Table 2 are calculated for each composite structure.

Table 2. Undamped natural frequencies and damping coefficients

E-glass/epoxy composite structures			
	E-1	**E-2**	**E-3**
f1	3.86	9.31	3.53
f2	25.16	61.99	22.14
Damping ratio for f1	0.0065	0.0118	0.0093
Rayleigh coefficients	α=0.2956761 β=0.0000771	α= 1.2019121 β= 0.0000527	α= 0.3579174 β= 0.0001156

S2-glass/epoxy composite structures				
	S2-1	**S2-2**	**S2-3**	**S2-4**
f1	4.66	11.06	4.65	14.14
f2	30.17	71.03	29.51	88.99
Damping ratio for f1	0.0074	0.0073	0.0087	0.0068
Rayleigh coefficients	α= 0.3750592	α= 0.8737251	α= 0.4411509	α= 1.0489000
	β= 0.0000675	β= 0.0000281	β= 0.0000813	β= 0.0000211

Table 2 gives the natural frequencies and damping coefficients for the composite structures. As seen from Table 2, the natural frequencies and damping coefficients for E-glass/epoxy composite structure with dimensions of 360x28x1 mm^3 are found as 3.86 Hz, 25.16 Hz for first two natural frequencies, 0.0065 fordamping ratio, 0.2956761 and 0.0000771 for the mass and stiffness coefficients, respectively.

The first two natural frequencies for E-1 composite structure are calculated as 3.86 Hz and 25.16 Hz while those for E-2 composite structure is obtained as 11.06 Hz and 71.03 Hz. When the results are evaluated, it is observed that the natural frequencies for composite structures are increased when the length of them is shortened. For S2-glass/epoxy composite structures, the first natural frequency is found as 4.66 Hz, 11.06 Hz, 4.65 Hz and 14.14 Hz, respectively. Similar results are obtained in S2-glass/epoxy composite structures. For example, the first natural frequency of S2-1 composite structure is found as 4.66 Hz. The first natural frequency of the shorter length S2-2 composite structure is also increased, resulting in 11.06 Hz. Also, when the E-1 and E-3 composite structures are compared, the first natural frequency results decreased from 3.86 Hz to 3.53 Hz when their length and width increased.

Furthermore, the damping ratios are determined as 0.0065, 0.0118 and 0.0093 for E-1, E-2 and E-3 composite structures, separately while those is found as 0.0074, 0.0073, 0.0087 and 0.0068 for S2-1, S2-2, S2-3 and S2- 4 composite structures, respectively. It is observed from results that the change in damping ratios did not change at a certain rate.

As seen from results, when the width of the composite structures changes, there is no significant effect on first natural frequency and the change of damping ratios. However, as you can see from results, the second natural frequency is varied generally. Rayleigh damping coefficients depends on the first and second natural frequencies of the system. Therefore, it is observed that Rayleigh coefficients of composite structures in different combinations are varied.

4. Conclusions

In this study, the vibration behavior of composite structures in 7 different combinations, which are produced from E-glass/epoxy and S2-glass/epoxy composite materials, is experimentally investigated. Experimental modal analysis is realized to determine the natural frequencies and damping coefficients of the system. Vibration behavior of composite structures at different measuring points is investigated according to two different sensor points. Then, the effect of the lengths and widths of the composite structures are examined on dynamic behavior. Rayleigh damping coefficients were determined as depend on first two natural frequencies of composite structures.

Acknowledgement

Thanks to editors and referees due to their contributions during the review and evaluation phase of this paper.

References

Alexander, J. & Augustine, B. S. (2015). Free vibration and damping characteristics of gfrp and bfrp laminated composites at various boundary conditions. Indian Journal of Science and Technology, 8 (12), 1.

Banerjee, J., Cheung, C., Morishima, R., Perera, M. & Njuguna, J. (2007). Free vibration of a three-layered sandwich beam using the dynamic stiffness method and experiment. International Journal of Solids and Structures, 44 (22-23), 7543–7563.

Fu, Z.-F. & He, J. (2001). Modal analysis. Elsevier.

Garinis, D., Dinulovi´c, M. & Raˇsuo, B. (2012). Dynamic analysis of modified composite heli- copter blade. FME Transactions, 40 (2), 63–68.

Guru Raja, M. & Hari Rao, A. (2013). Effect of an angle-ply orientation on tensile proper- ties of kevlar/glass hybrid composites. International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering, 2, 63–67.

Howson, W. P. & Zare, A. (2005). Exact dynamic stiffness matrix for flexural vibration of three-layered sandwich beams. Journal of Sound and Vibration, 282 (3-5), 753–767.

Jun, L., Hongxing, H. & Rongying, S. (2008). Dynamic finite element method for generally laminated composite beams. International Journal of Mechanical Sciences, 50 (3), 466– 480.

Kranjc, T., Slaviˇc, J. & Bolteˇzar, M. (2013). The mass normalization of the displacement and strain mode shapes in a strain experimental modal analysis using the mass-change strategy. Journal of Sound and Vibration, 332 (26), 6968–6981.

Kwon, Y. & Plessas, S. (2014). Numerical modal analysis of composite structures coupled with water. Composite Structures, 116, 325–335.

Kwon, Y., Priest, E. & Gordis, J. (2013). Investigation of vibrational characteristics of com- posite beams with fluid–structure interaction. Composite Structures, 105, 269–278.

Nayak, P. (2008). Vibration analysis of woven fiber glass/epoxy composite plates (Doctoral dissertation).

Nikhil, M. K., Indrajeet, B. S., Utkarsh, D. C. & Manoharan, R. (2018a). Modal analysis of hybrid laminated composite sandwich plate. Materials Today: Proceedings, 5 (5), 12453– 12466.

Oliveira, E´., Maia, N., Marto, A., Da Silva, R., Afonso, F. & Suleman, A. (2016). Modal characterization of composite flat plate models using piezoelectric transducers. Mechanical Systems and Signal Processing, 79, 16–29.

Song, Z. & Su, C. (2017). Computation of rayleigh damping coefficients for the seismic analysis of a hydro- powerhouse. Shock and Vibration, 2017.

Sun, Q., Zhou, J.-X. & Zhang, L. (2003). An adaptive beam model and dynamic characteristics of magnetorheological materials. Journal of Sound and Vibration, 261 (3), 465–481.

Wang, B.-T. & Cheng, D.-K. (2011). Modal analysis by free vibration response only for discrete and continuous systems. Journal of Sound and Vibration, 330 (16), 3913–3929

Investigation of the Effect of the Welding Parameters on the Mechanical Properties of the Friction Stir Spot Welded Joints

Mustafa AKIN[1,a], Mustafa Kemal KÜLEKCİ[*2,b], Uğur EŞME[2,c], Cem BOĞA[3,d], Kürşat KAHYA[1,e]

[1]Tarsus University, Technology Faculty, Graduate Institute, Department of Manufacturing Engineering, 33480, Tarsus

[2]Tarsus University, Engineering Faculty, Graduate Institute, Department of Mechanical Engineering, 33480, Tarsus

[3]Alparslan Türkeş Science and Technology University, Department of Mechanical Engineering, 01250, Adana

Abstract

Friction stir spot welding (FSSW) is a modern solid state welding technique and is a welding type suitable for automation and robotic applications that provides advantages such as reducing welding times and low energy consumption. In this study, DX51D+Z galvanized steel sheet plate and AA6061aluminum alloy plate were welded using FSSW and the most suitable welding parameters for FSSW were determined by examining the welding performances of these materials. The effects of welding parameters such as tool pin length, tool rotation speed on mechanical properties such as tensile strength, hardness and microstructure in welded joints obtained by FSSW method were investigated. At the end of the study, optimum welding parameters were determined and the results were analyzed graphically.

Keywords: Friction stir spot welding (FSSW), Hardness, Microstructure, Tensile strength

1.Introduction

Welding is the process of joining metal, metal derivative and thermoplastic materials with the effect of heat, pressure and additional materials. Welding methods are used in manufacturing, maintenance and repair processes. Welding as a joining method provides ease of production compared to riveted joints. Therefore, today welding is preferred over riveted joints in machine production and provides a superior production opportunity. Welding methods which is used in industrial applications is selected according to the mechanical properties, production type and technology of the preferred material. Resistance spot welding (RSW), resistance seam welding (RSEW), metal inert gas (MIG) welding, tungsten inert gas (TIG) welding, laser beam welding (LBW), friction welding (FW) and plasma arc welding (PAW) are the types of the welding processes all of which are used in automotive manufacturing industry for vehicle body manufacturing (Durand, 2001). Friction stir welding (FSW) process was invented at the Welding Institute (TWI) in 1991 (Shen et al, 2020; Thomas, 1991; Kano et al, 2004). FSSW is known as a solid-state joining process to weld structural components in different configurations (Addison et al. 2004; Awang et al, 2005; Awang et al, 2010; Babu, 2013; Badarinarayan, 2009). It is preferred over traditional spot welding methods because it reduces joining steps and costs in different manufacturing industries (Bakavos et al, 2009; Pan et al, 2009). The use of FSSW in the manufacturing sector will pave the way for the use of aluminum alloy materials instead of alloy steels, and this method will reduce the weight of the manufactured vehicle body. The weight reduction will be beneficial in saving energy in vehicles (Mert et al, 2013). For this reason, the manufacturing sector has turned to methods such as FSW and its derivative FSSW for the production of lightweight structures. FSSW process is a type of welding which is made by softening the workpiece material with the heat generated by the friction between the welding tool and the workpiece material (Bakavos et al, 2010). The FSSW process has proven to be very reliable in the automotive industry. This process is defined by four different regions, including the base or base metal (BM), the thermo-mechanically affected zone (TMAZ), the heat affected zone (HAZ) and the stir

zone (SZ) or the heavily deformed weld nugget (WN) (Mitlin et al, 2006; Bagheri et al, 2019). It is an important subject in the literature analyzing the welding areas. However, the quality of the weld area depends on the different weld parameters such as dwelling time, rotation speed, plunging depth, material flow around the tool pin, tool shoulder and shape. Literature review shows that there are many studies made on FSSW process. Ravi Sekhar et al. (2018) studied the effect of tool rotation speed of AA5052-H38 aluminum alloy manufactured by FSSW process on shear fracture load. According to this study, they found that an increase in tool rotational speed up to a constant value increases the shear fracture load, and the greater the speed, decreases the shear fracture load. Jedrasiak et al. (2016) modeled a FEM (Finite Element Model) to predict the thermal histories of the joints of the same or different materials during FSSW. D'Urso and Giardini (2016) investigated the effects of rotation speed, plunging depth and axial feed rate on temperature distribution and mechanical properties in combining AA7050 aluminum alloy plates with FSSW method. Yuan et al. (2011) investigated the effect of plunge depth and tool rotation speed on the lap shear separation load properties of the welded joint in the FSSW process. It has been concluded in this study that, there is no relationship between the microhardness distribution and the separation position. Zhang et al. (2011) stated that although dwell time has no effect, tool rotation speed has an effect on the joint strength in the FSSW process. Ojo et al. (2018) reported that tool rotational speed had the dominant effect on the material flow and strength of the friction stir spot welded AA2219 Al alloy. It was revealed that the percentage contributions of tool rotational speed, plunge depth and dwell time on the failure load of the joint were 53.47%, 35.12%, and 10.64% respectively. Mubiayi et al. (2016) examined the effect of the welding tool geometry on the welded joint during the FSSW welding process of Al-Cu materials. They reported that flat pin and flat shoulder tool type caused the highest shear load at 800 r/min. Labus et al. (2020) applied FSSW process to A5754 aluminum alloy sheets with a pinless convex tool. Also, the effects of rotation speed from FSSW parameters were investigated. They found that the rotational speed of the tool directly affects the microstructural properties of the joints. Ozdemir et al. (2012) used a changeable-pin welding tool with a 20 mm diameter shoulder. They found that the difference in pin lengths (2.8, 4 and 5 mm) had a great impact on the mechanical properties of the Al-Cu FSSW joints. Piccini and Svoboda (2015) investigated the effects of tool geometry and penetration depth on welded joints in the FSSW process of AA5052 low carbon steel. They found that atomic diffusion improved due to the high pressure at the welded joint interface.

In this study, an attempt has been made to investigate the effect of welding parameters on mechanical properties of friction stir spot welded AA6061 aluminum alloy and DX51D+Z galvanized steel plates. The prepared samples were welded under different welding parameters to determine the optimal welding conditions which gives the highest tensile strength and microhardness. In addition to that, welding parameters affecting the mechanical properties and microstructure of the joined samples were also investigated.

2.Experimental Procedures

Friction stir spot welding (FSSW) is a type of welding made based on the basic principles of linear FSW without horizontal movement of the tool. The aim of this method is to weld two or more overlapping plates by immersing the rotary tool at a certain speed until the shoulder comes into contact with the upper plate. The fixed anvil is used to provide support for axial loads. In particular, a certain dwell time is required to reach the desired temperature for the plastic flow of high melting point materials. This dwell time also increases the volume of the deformed material and promotes material flow and mixing between the top and bottom sheet material (Yang et al, 2010). The material around the tool softens and deforms due to the high stress. The vertical direction facilitates the flow of plasticized material in both circumferential and axial directions. This helps to eliminate the oxide layer at the welded joint interface. After the dwell time for the desired welded joint, the tool is quickly withdrawn (Lie et al, 2013; Tran et al, 2010). The schematic representation of the method is illustrated in Figure 1.

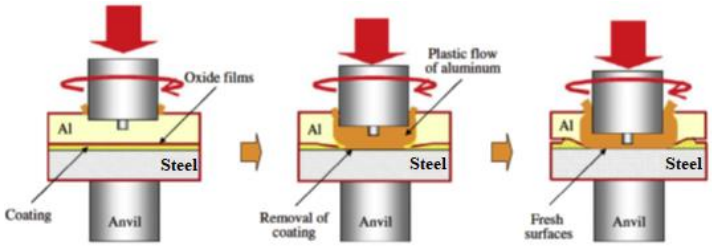
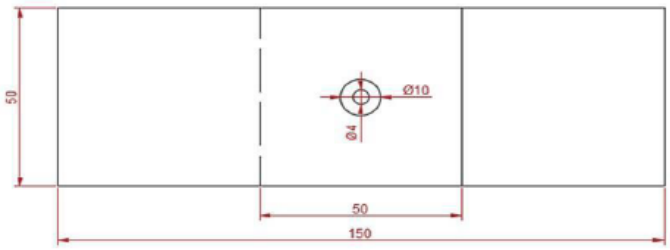
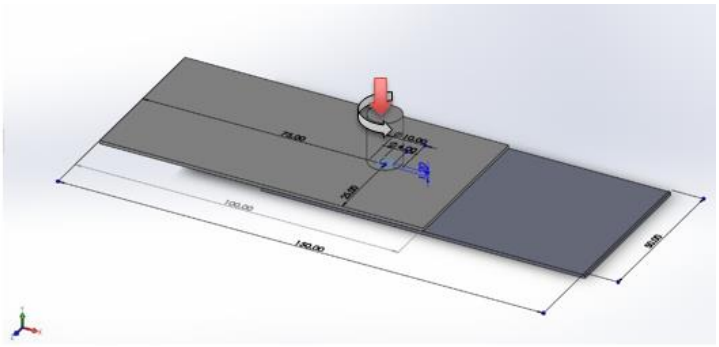


Figure 1. Schematic representation of the FSSW process (Tran et al, 2010).

The samples which has 1 mm thickness were prepared with the dimensions of 100×50 mm before the experiments. As given in Figure 2(a), DX51D+Z galvanized steel sheet was positioned under the AA6061 series aluminum alloy sheet to obtain a 50 mm² lapped area. 3D drawing of the weld position and dimensions of the prepared specimens is also given in Figure 2(b).



(a)



(b)

Figure 2. Schematic representation of the samples (a) Technical drawing of samples, (b) Isometric view of the welding position

Then, FSSW process was performed on the midpoint of the lapped area by using column drill stand in suitable dimensions as shown in Figure 3.



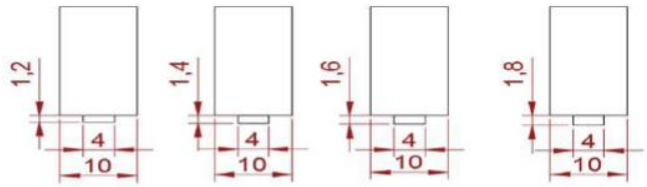
Figure 3. Drill stand and clamping used in the experiments

The selection of FSSW parameters was made in accordance to the studies given in the literature. FSSW parameters used in this study are tabulated in Table 1.

Table 1. FSSW parameters

Welding Parameters	Values
Tool pin tip length (mm)	1.2, 1.4, 1.6, 1.8
Tool pin shoulder diameter (mm)	10
Tool rotation speed (rpm)	650, 860
Dwell time (sec)	5
Tool pin contact surface diameter (mm)	4

The schematic view of four different types pin length used in the present study is given in Figure 4(a). The welding tools were heat treated before the experiments. Figure 4(b) shows the photograph of the four type of tool pins used in the experimental investigations.



(a)



(b)

Figure 4. (a) Dimensions of the tool used, (b) Heat treated weld tools

The view of the welded samples joined by the FSSW process is shown in Figure 5.

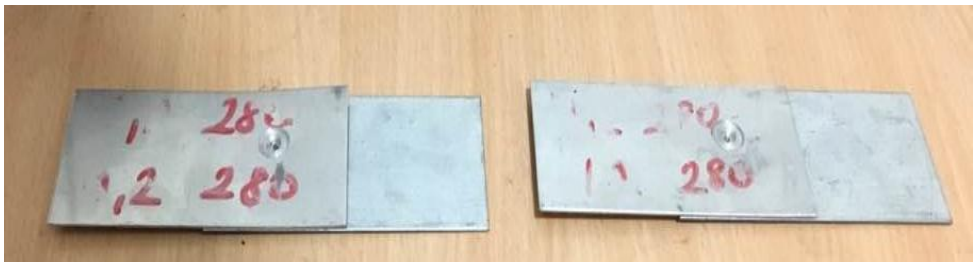


Figure 5. Experimental samples joined by the FSSW process

3.Results and Discussion

DX51D+Z galvanized sheet steel plate and AA6061series aluminum alloy sheet metal sheets are joined with FSSW process. Tensile tests and hardness measurements were carried out in order to determine the mechanical properties of the SZ. A scanning electron microscope (SEM) was used to determine the surface properties.

The welding performance of the joined specimens with the FSSW method was determined based on the maximum tensile strength obtained by the tensile test. The maximum tensile strength values of the tensile test of the specimens joined with the FSSW method are given in Table 2 and the rotation speed vs tensile strength curve is given in Figure 6. As it can be seen from Figure 6, as the rotation speed increases, the tensile strength decreases.

Table 2. Maximum and average tensile test results

Method	Experiment no	Tool pin tip length (mm)	Tool rotation speed (rpm)	Dwell time (sec)	Maximum tensile force (N)	Average tensile force (N)
FSSW	1	1.2	650	5	215.82	196.2
FSSW	2	1.2	860	5	176.58	
FSSW	3	1.4	650	5	245.25	215.82
FSSW	4	1.4	860	5	186.39	
FSSW	5	1.6	650	5	255.06	225.63
FSSW	6	1.6	860	5	196.20	
FSSW	7	1.8	650	5	259.96	233.97
FSSW	8	1.8	860	5	207.97	

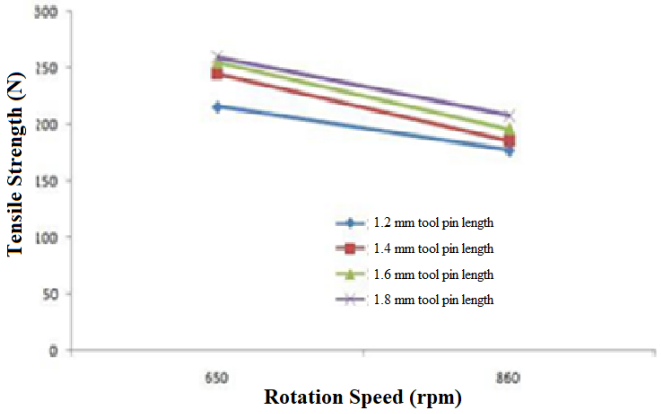


Figure 6. Tool rotation speed vs tensile strength graph

Table 3 shows the elongation values relative to the maximum tensile strength on the sample and the tool pin tip length vs elongation graph is also shown in Figure 7.

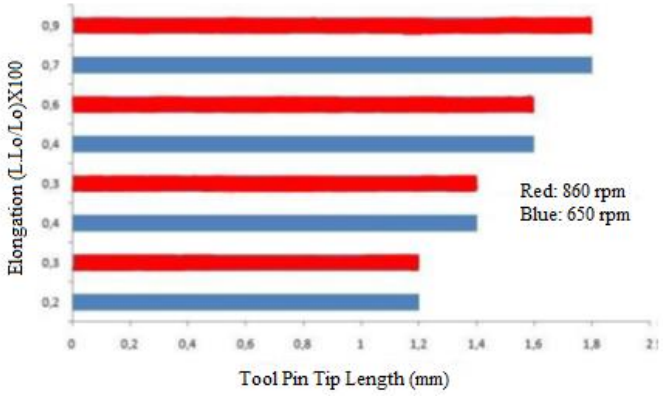


Figure 7. Tool pin tip length vs elongation graph

Table 3. Elongation values of the tensile test experiment

Method	Experiment run no	Tool pin tip length (mm)	Tool rotation speed (rpm)	Elongation (%)
FSSW	1	1.2	650	20
FSSW	2	1.2	860	33
FSSW	3	1.4	650	44
FSSW	4	1.4	860	34
FSSW	5	1.6	650	36
FSSW	6	1.6	860	56
FSSW	7	1.8	650	74
FSSW	8	1.8	860	88

The tensile test performed to evaluate the welding performance of plates joined with the FSSW method. As can be seen from Table 2, the average tensile force for the 1.2 mm tool pin type length value was obtained as 196.2 N, while it was 233.97 N for 1.8 mm. Thus, the increase in tool pin tip length caused an increase in the average tensile force values. As can be seen from Table 3, however, it has been observed that under the constant tool pin tip length, an increase in tool rotation speed also caused an increase in elongation values.

In the schematic representation of microhardness points for 7th experimental run given in Figure 8, the microhardness values of the regions in direction "a" measured as: in the stirring zone (points from 5 to 7) average 38.6 HV_{500}, in heat affected zone (points 4 and 8) average 157 HV_{500}. Also, for the direction "b" it can be summarized as: in the stirring zone (points 20 and 30) average 48.7 HV_{500}, in heat affected zone (point 50) 156 HV_{500}. Microhardness test values are summarized and tabulated in Table 4.

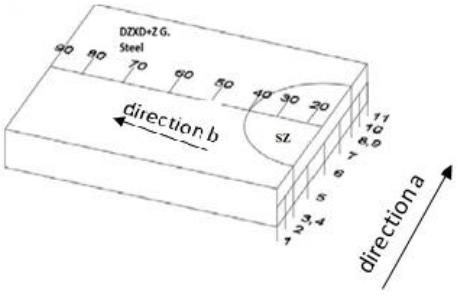


Figure 8. Microhardness test points taken from the samples

Table 4. Microhardness testing results at different points

Microhardness test values (direction a)		
Number of applications	Application weight (g)	Microhardness values (HV_{500})
1	500	165
2		167
3		156
4		158
5		41.2
6		38.6
7		36.2
8		156
9		161
10		169
11		167
Microhardness test values (direction b)		
20	500	49.4
30		48
40		156
50		164
60		167
70		165
80		169
90		167

The welding zone is formed by the tool pin used during the FSSW process, creating a gap on the material. This zone was thermo-mechanically affected (TMAZ) and the heat and pressure generated during the FSSW process caused mechanical locking in this zone. Intermetallic interphase formations occur at high heat inputs where a strong metallic bond is formed between the atoms. Therefore, the elongation and tensile force values are higher in joints where the intermetallic phase is formed (Kulekci et al, 2006; Kulekci et al, 2008). No intermetallic bond was found in the examinations we made on the microstructure images. In the FSSW application, the parameters used in the source of the test samples numbered 7 and 8 were determined as optimum values. Therefore, in order to examine the bond formed during welding, microstructure studies were made in the cross section of sample number 7. After the specimen was prepared for microstructure, it was examined by taking X1000 magnification in scanning

electron microscope (SEM). Figure 9 shows the SEM image of the welded joint obtained at 7th experiment (1.8 mm tool pin length, 650 rpm tool rotation and 5 sec dwell time).

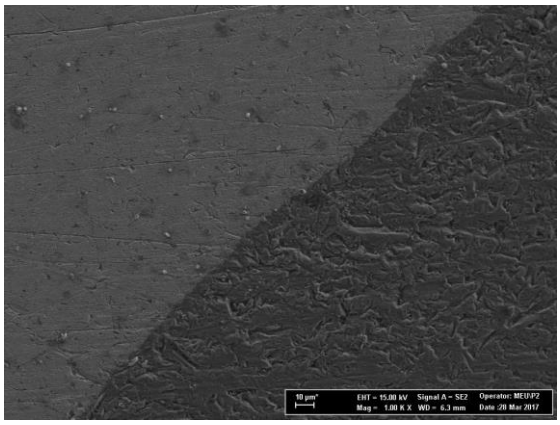


Figure 9. SEM images of the welded joints (X1000)

Increasing the rotation speed under the constant pin diameter increased the amount of heat transferred to the stirring zone. Increasing the heat transferred to the stirring zone also affected the microstructure of the alloys and hence positively affected the ductility properties. On the other hand, this situation negatively affected the tensile force of the welded joint. In the literature, there are studies indicating that mechanical properties decreases when the critical heat level is exceeded for the joints produced by FSW (Kulekci et al, 2006; Kulekci et al, 2008). Within the scope of this study, it was determined that the mechanical properties decreased with the increase of the heat and it was observed that it was in harmony with the previous studies. After the microhardness tests, it was observed that the hardness value of the jointed aluminum alloy material was lower than the base material. In addition, the effects of the parameters affecting the FSSW connections were determined. It is understood that the tensile force is low due to the absence of bonds between metals in the joined parts.

4.Conclusions

In our study, it is aimed to determine the optimal welding parameters in terms of welding connection performance of DX51D+Z galvanized steel plate and AA6061series aluminum alloy plate joined with FSSW method. In the present study, four different tool pin tip lengths and two different rotation speed were used in order to investigate the welding parameters on mechanical performance of the joints. The following conclusions can be drawn from this study:

- it has been determined that the most important parameter on welding performance is the tool pin tip length and the tool rotation speed,
- increasing the tool pin tip length caused an increase in the tensile force,
- increasing the tool rotation speed caused a decrease in the tensile force but increased the elongation at the same tool pin tip length,
- the highest tensile force of 233.97 N was obtained using the welding parameters of 1.8 mm tool pin length, 650 rpm tool rotation and 5 sec dwell time,
- lowest elongation of 20% was obtained using the welding parameters of 1.2 mm tool pin length, 650 rpm tool rotation and 5 sec dwell time,
- the stirring zone and heat affected zone microhardness of the joint (in direction a) obtained as 38.6 and 157 HV_{500} respectively (1.8 mm tool pin length, 650 rpm tool rotation and 5 sec dwell time),
- the stirring zone and heat affected zone microhardness of the joint (in direction b) obtained as 48.7 and 156 HV_{500} respectively (1.8 mm tool pin length, 650 rpm tool rotation and 5 sec dwell time),

- this study also proved that different type of materials can be successfully welded using FSSW as in the automobile part manufacturing,

References

Addison, A and Robelou, A (2004). Friction stir spot welding: principal parameters and their effects. *Proc. 5th International Friction Stir Welding Symposium*, TWI Ltd. Metz, France.

Awang, M and Mucino, V, H. (2010) Energy Generation during Friction Stir Spot Welding (FSSW) of Al 6061-T6 Plates, *Materials and Manufacturing Processes*, 25:1-3, 167-174, https://doi: 10.1080/10426910903206758

Awang, M., Mucino, V., Feng, Z., and David, S., (2005). Thermo-mechanical modeling of friction stir spot welding (FSSW) process: use of an explicit adaptive meshing scheme. *SAE Technical Paper*, https://doi.org/10.4271/2005-01-1251.

Babu, S., Sankar, V., Ram, G.J., Venkitakrishnan, P., Reddy, G.M., Rao, K.P. (2013). Microstructures and mechanical properties of friction stir spot welded aluminum alloy AA2014. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 22(1): 71–84, https://doi: 10.1007/s11665-012-0218-z.

Badarinarayan, H., Yang, Q., Zhu,S. (2009), Effect of tool geometry on static strength of friction stir spot-welded aluminum alloy. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 49(2), 142-148. https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2008.09.004.

Bagheri, B., Mahdian Rizi, A.A., Abbasi, M.(2019). Friction stir spot vibration welding: improving the microstructure and mechanical properties of Al5083 joint. *Metallography Microstructure and Analysis*, 713–725. https://doi.org/10.1007/s13632-019-00563-y

Bakavos, D. and Prangnell, P. B. (2009) Effect of reduced or zero pin length and anvil insulation on friction stir spot welding thin gauge 6111 automotive sheet, *Science and Technology of Welding and Joining*, 14:5, 443-456, https://doi: 10.1179/136217109X427494

Bakavos, D., Chen, Y., Babout, L., and Prangnell, P. (2010). Material interactions in a novel pinless tool approach to friction stir spot welding thin aluminum sheet. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 42(5), 1266–1282. https://doi:10.1007/s11661-010-0514-x

D'Urso, G., and Giardini, C. (2016). Thermo-mechanical characterization of friction stir spot welded AA7050 sheets by means of experimental and FEM analyses. *Materials*, 9(8), 689. https://doi:10.3390/ma9080689

Durand B., (2001). Magnetic pulse welding process to decrease vehicle weight and increase fuel efficiency, *Research and Data for Status Report*, 95-02-0055, , 271-274. https://doi:10.3390/jmmp4030069

Jedrasiak, P., Shercliff, H. R., Reilly, A., McShane, G. J., Chen, Y. C., Wang, L.,Prangnell, P. (2016). Thermal modeling of Al-Al and Al-steel friction stir spot welding. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 25(9), 4089–4098. https://doi:10.1007/s11665-016-2225-y

Kano Y, Inuzuka M, Yamashita S, Nakashima Y, Nagao Y and Iwashita T (2004) *Spot joining method and spot joining device*. U.S. Pat. No. 6,832,713. 2

Kulekci, M.K., Şik, A. and Kaluç, E. (2008). Effects of tool rotation and pin diameter on fatigue properties of friction stir welded lap joints. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36, 877–882. https://doi.org/10.1007/s00170-006-0901-z

Kulekci, M.,K. and Sik, A. (2006). Effects of tool rotation and transverse speed on fatigue properties of friction stir welded AA 1050-H18 aluminium alloy. *Archives of Metallurgy and Materials*. 51. 213-216.

Liu, H., Zhao, Y., Su, X., Yu, L., and Hou, J. (2013). Microstructural characteristics and mechanical properties of friction stir spot welded 2A12-T4 aluminum alloy. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1–10. https://doi:10.1155/2013/719306

Mert, Ş. and Mert, S . (2013). İnvestigation of friction stir spot welding method. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 2 (1) , 26-35 . https://dergipark.org.tr/tr/pub/duzceitbd/issue/4814/66420

Mitlin, D., Radmilovic, V., Pan, T., Chen, J., Feng, Z., and Santella, M. L. (2006). Structure–properties relations in spot friction welded (also known as friction stir spot welded) 6111 aluminum. *Materials Science and Engineering: A*, 441(1-2), 79–96. https://doi:10.1016/j.msea.2006.06.126

Mubiayi, M. P.and Akinlabi, E. T. (2016). Evolving properties of friction stir spot welds between AA1060 and commercially pure copper C11000. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(7), 1852–1862. https://doi:10.1016/s1003-6326(16)64296-6

Ojo, O. O., and Taban, E. (2018). Hybrid multi-response optimization of friction stir spot welds: failure load, effective bonded size and flash volume as responses. *Sādhanā*, 43(6). https://doi:10.1007/s12046-018-0882-2

Ozdemir, U., Sayer, S. and Yeni, C. , (2012) Effect of pin penetration depth on the mechanical properties of friction stir spot welded aluminum and copper. *Materials Testing*, 54(4), 233-239. https://doi.org/10.3139/120.110322

Pan, T., Santella, M., and Blundell, N., (2009), Friction stir spot welding for structural aluminum sheets, *SAE International Journal of Materials and Manufacturing*. 2(1):23-29. https://doi.org/10.4271/2009-01-0023.

Piccini, J. and Svoboda, H. (2015). Effect of the tool penetration depth in friction stir spot welding (FSSW) of dissimilar aluminum alloys. *Procedia Materials Science*. 8. 868-877. https://doi:10.1016/j.mspro.2015.04.147.

Sekhar, S. R., Chittaranjandas, V., Govardhan, D., and Karthikeyan, R. (2018). Effect of tool rotational speed on friction stir spot welded AA5052-H38 aluminum alloy. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 5536–5543. https://doi:10.1016/j.matpr.2017.12.144.

Thomas W M (1991) *Friction stir butt welding.* Inter. Pat. App. No. PCT/GB92/022-0

Tran, V.-X., & Pan, J. (2010). Fatigue behavior of dissimilar spot friction welds in lap-shear and cross-tension specimens of aluminum and steel sheets. *International Journal of Fatigue*, 32(7), 1167–1179. https://doi:10.1016/j.ijfatigue.2009.12.011.

Yang, Q., Mironov, S., Sato, Y. S., and Okamoto, K. (2010). Material flow during friction stir spot welding. *Materials Science and Engineering: A*, 527(16-17), 4389–4398. https://doi:10.1016/j.msea.2010.03.082.

Yuan, W., Mishra, R. S., Webb, S., Chen, Y. L., Carlson, B., Herling, D. R., and Grant, G. J. (2011). Effect of tool design and process parameters on properties of Al alloy 6016 friction stir spot welds. *Journal of Materials Processing Technology*, 211(6), 972–977. https://doi:10.1016/j.jmatprotec.2010.12.014.

Zhang, Z., Yang, X., Zhang, J., Zhou, G., Xu, X., and Zou, B. (2011). Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of friction stir spot welded 5052 aluminum alloy. *Materials and Design*, 32(8-9), 4461–4470. https://doi:10.1016/j.matdes.2011.03.058

Zhikang Shen, Yuquan Ding,Adrian P. Gerlich (2020) Advances in friction stir spot welding. *Critical Reviews in Solid State and Materials Sciences*, 45:(6), 457-534, https://doi: 10.1080/10408436.2019.1671799.

Zlatanovic, L, D., Balos, S., Bergmann, J. P., Köhler, T., Grätzel, M., Sidjanin, L., and Goel, S. (2020). An experimental study on lap joining of multiple sheets of aluminium alloy (AA 5754) using friction stir spot welding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. https://doi:10.1007/s00170-020-05214-z

AISI H13 Sıcak İş Takım Çeliğine Uygulanan Gaz Nitrasyon İşleminin Aşınma Davranışları Üzerindeki Etkisi

İsmail OVALI[1,a], Gökmen ATLIHAN[1,b], Berkay ERGENE*[1,c], Çağın BOLAT[2]
[1]*Pamukkale Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 20160, Denizli*
[2]*İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Malzeme ve İmalat Departmanı, 34437, Istanbul*

Öz

Bu çalışmada, AISI H13 (DIN 1.2344) sıcak iş takım çeliğine, 530°C' de 2,5 saat gaz nitrasyon işlemi uygulanmış olup, bu işlemin aşınma davranışları üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Abrazif aşınma testlerinde, 5, 10 ve 15 N mertebelerinde üç farklı kuvvet seti, kuru ortamda, sabit kayma hızında (3,33 m/s) ve üç farklı kayma mesafesinde (100, 200 ve 300 m) uygulanmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçları incelendiğinde; uygulanan nitrasyon işleminin AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin aşınma davranışları üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir ve en yüksek aşınma direnci nitrasyon işlemi uygulanmış numunede elde edilirken, en düşük aşınma direnci ise nitrasyon işlemi uygulanmamış (dökülmüş haldeki) numunede elde edilmiştir. Makine ve imalat parçalarının servis ömürleri göz önüne alındığında; uygulanan nitrasyon işleminin AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin aşınma ömrünü ve tasarım performansını geliştirebileceği saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: AISI H13, Aşınma, Nitrasyon, Pin-on-Disk, Yüzey Sertleştirme

1. Giriş

DIN 1.2344 (AISI H13) çelikleri sıcak iş takım çelikleri olarak bilinirler. Bu çelikler, yüksek sıcaklık mukavemeti, yeterli ölçüde süneklik, yüksek dayanım ve yüksek aşınma direnci sebebiyle endüstride geniş bir kullanım alanına sahiptir (Björk vd., 2001). AISI H13 komponentler genellikle metallerin sıcak şekillendirilmesinde, sıcak kesme bıçaklarının yapımında, ekstrüzyon kalıplarında, metal enjeksiyon kalıplarında ve aşınmanın yüksek olduğu plastik kalıpların yapımında kullanılmaktadır (Taktak, 2007). İlgili çelikler, temperleme, su verme ve lazer gibi ısıl işlemler yapıldığı takdirde 450-500 HV sertliklerine kadar ulaşabilmektedir (Taktak, 2007; Lee vd., 2009). Öte yandan, fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin geniş kapsamlı olmasının nedenlerinden biri de yapısında yüksek oranda krom elementi bulundurmasıdır. Yüzey modifikasyonu açısından, içeriğinde bulunan Cr-Mo-V vb. alaşım elementlerinin bir sonucu olarak iyi nitrürlenebilme özelliğine sahip olduğu bilinmektedir (Güven vd., 2014).

Endüstriyel uygulamalarda, başta çelik olmak üzere birçok metalik makina parçasının aşınma ve yorulma dirençlerini artırmak amacı ile yüzeylerinin sertleştirilmesi söz konusu olduğunda yüzey kaplamanın yanı sıra nitrasyon işlemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Ergene ve Bolat, 2020; Mohanad, 2016; Trinadh, 2021; Kovacı ve Seçer, 2020). Nitrasyon işlemi başlangıçta amonyak atmosferinde demir kafesi içerisinde azotun çözündürülmesi amacı ile yapılmış iken, zamanla azot sağlayıcı ortam olarak siyanür içerikli tuz banyoları kullanılarak ve daha yeni bir teknik olan plazma nitrasyon ile de gerçekleştirilmektedir (Kovacı ve Seçer, 2020; Sathish, 2018). Bu yeni teknik, malzemede minimum distorsiyon oluşturması nedeni ile tercih edilmektedir. Yüzeyde homojen bir sertlik kazanımı açısından uygun bir yöntem olan nitrasyon için seçilen yöntem (gaz, sıvı veya plazma nitrasyon vb.) ve seçilen yöntemin koşulları (gaz akışı, plazma, sıcaklık, zaman vb.) oldukça önemlidir (Polat vd., 2011).

Demir esaslı malzemeler nitrürlendikten sonra içyapıları iki farklı bölgeye ayrılır (Chang, 2019; Shen ve Wang, 2020; Yan vd., 2018; Hacısalihoğlu vd., 2018). Birinci bölge nitrürleme işleminden sonra yeni bir içyapı görünümüne kavuşan ve dış yüzeyden itibaren belirli kalınlıkta meydana gelen sert tabakadır.

İkinci bölge ise malzemenin nitrürlemeden önceki içyapısını muhafaza eden ve sert tabakanın altında yer alan çekirdek kısmıdır. Sert tabaka ise azotun bağlanması ve yayınması bakımından beyaz (bileşik) tabaka ve yayınma (difüzyon) tabakası olarak ikiye ayrılır (Ramos vd., 2019). Sadece birkaç mikron kalınlığında olan bileşik tabaka, dağlamadan etkilenmeyip, metalografik incelemede beyaz göründüğü için "beyaz tabaka" olarak da anılır. Bileşik tabaka, oldukça kalın olan "difüzyon tabakası" tarafından desteklenir. Bu tabakada azot, ergiyik olarak veya bazı özel nitrürler halinde bulunur. Kısa işlem sürelerinde ve düşük sıcaklıklarda difüzyon zorlaştığından elde edilen sertlik değerleri ve sertlik derinlikleri azalmaktadır. Yüksek sıcaklıklarda ise (500 °C üzerinde) oluşan kaba çökeltiler nedeniyle sertlikte düşme görülmektedir (Akbulut ve Bengü, 2004).

Bu çalışmada, AISI H13 sıcak iş takım çeliğine uygulanan gaz nitrasyon ile yüzey sertleştirme/modifikasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Farklı test yükleri ve kayma mesafelerinin gaz nitrürlenmiş ve işlem görmemiş haldeki numuneler üzerindeki aşındırıcı etkileri analiz edilip karşılaştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışmalar

2.1. Malzeme Özellikleri

Altlık malzemesi olarak AISI H13 sıcak iş takım çeliği kullanılmıştır. Test edilen çelik malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 1'de verilirken, farklı sıcaklıklardaki çekme dayanımı değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca Tablo 3'te de bazı önemli fiziksel özellikler gösterilmiştir (Ayhansteel, 2021).

Tablo 1. AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin kimyasal kompozisyonu (% Ağırlık) (Ayhansteel, 2021).

Kimyasal Kompozisyon (% Ağırlık)								
C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Co
0,39	1,00	0,40	5,10	1,30	-	1,00	-	-

Tablo 2. AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin sıcaklığa bağlı çekme dayanımı değerleri (Ayhansteel, 2021).

Çekme Dayanımı (MPa)			
Sertleşmiş halde	500 °C	600 °C	700 °C
2010	2060	1720	1130

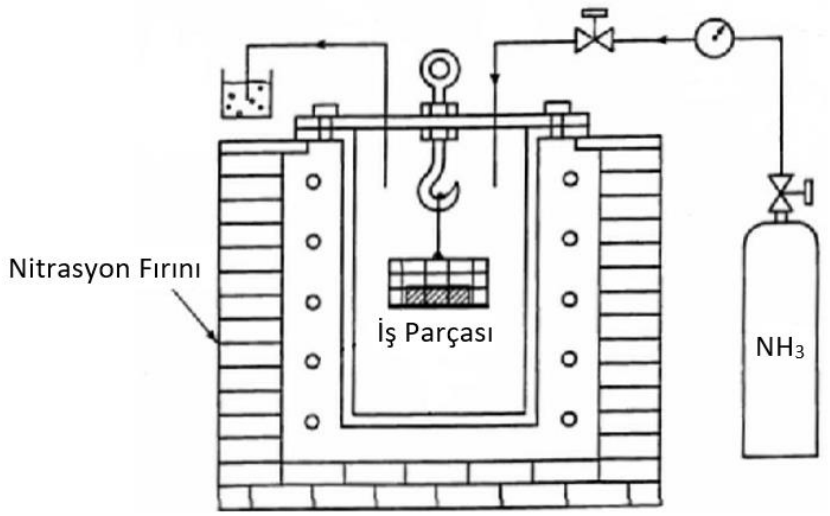
Tablo 3. AISI H13 sıcak iş takım çeliğinin sıcaklığa bağlı fiziksel özellikleri (Ayhansteel, 2021).

AISI H13 Fiziksel Özellikler			
	20 °C	400 °C	600 °C
Elastisite Modülü [kN/mm²]	210	179	168
Termal Genleşme Katsayısı [$10^{-6/K}$]	-	11,9	13
Isıl İletkenlik [W/mK]	26	29,1	32

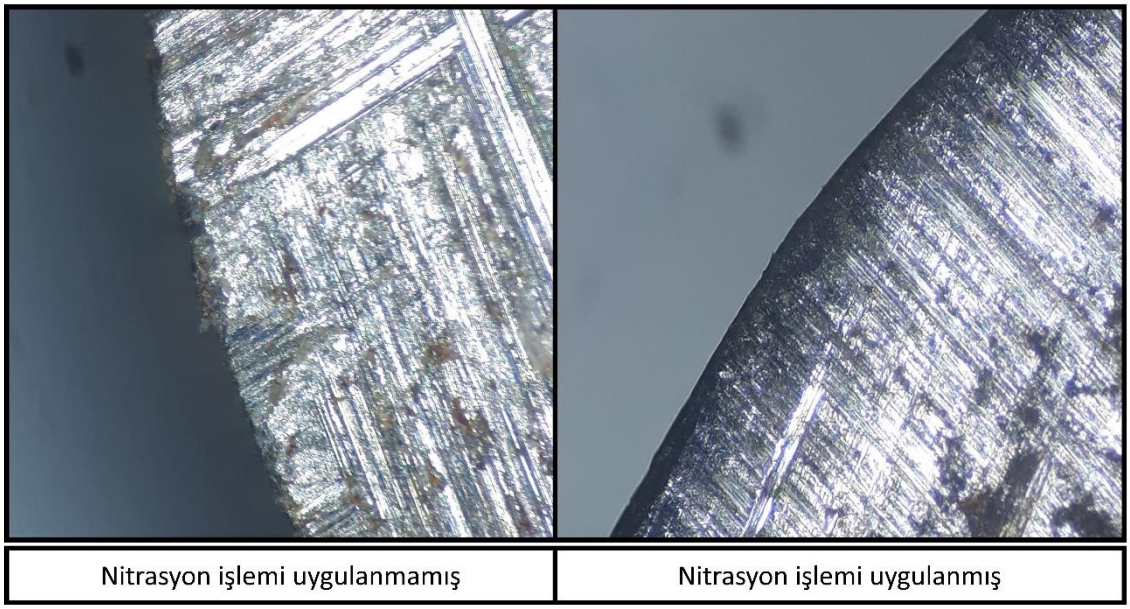
2.2. Nitrasyon İşlemi

Gaz ortamda nitrasyon işlemi, malzemenin fırına şarjı sonrası ayrışmış amonyak içeren gazın kapalı hazne içerisine verilmesi ve kademeli olarak belirli sıcaklıklara ısıtma ve bu sıcaklıklarda belirli bir süre tutma şeklinde uygulanmaktadır. 495 °C ve 565 °C arasında amonyak gazı hidrojen ve azota ayrışmaktadır ve bu sayede serbest kalan azot atomları difüze olabilmektedir (Nam vd., 2019). Bu çalışmada da benzer prensip geçerli olmuştur. Kullanılan gaz nitrasyon prosesi Şekil 1'de şematik olarak gösterilmektedir. Nitrasyon işlemi boyunca sıcaklık 530 °C olarak tutulmuştur ve 2.5 saat boyunca proses

sürdürülmüştür. Şekil 2'de ise nitrasyon işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin Nikon SMZ800 marka optik mikroskopla alınan görüntüleri verilmiştir.



Şekil 1. Gaz ortamında nitrürleme sisteminin şematik diyagramı



Şekil 2. Nitrasyon işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin mikroskobik görüntüleri

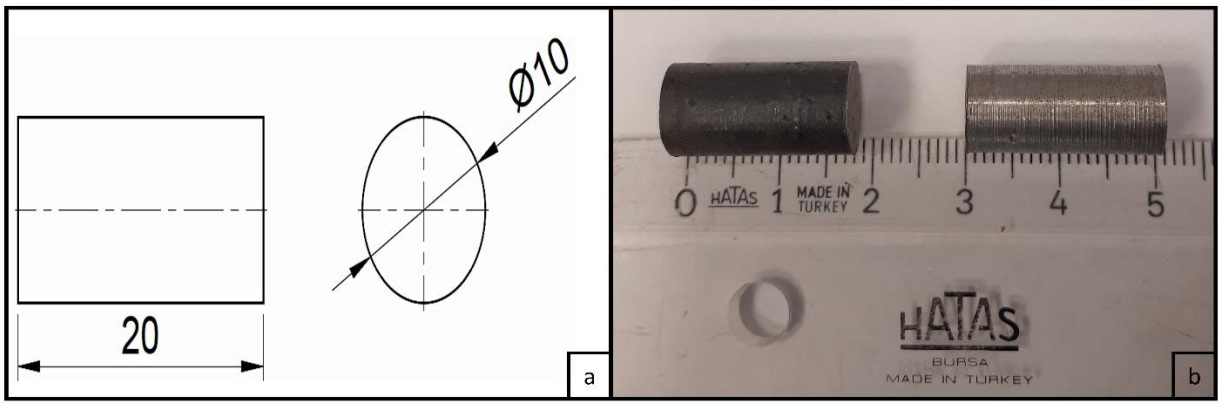
2.3. Mekanik Testler

2.3.1 Abrazif Aşınma Testi

Numunelerin ön talaş kaldırma işlemleri üniversal torna tezgahında, bitirme işlemleri ise Taksan CNC torna tezgahında yapılmış ve parçalar istenilen boyutsal ölçülere getirilmiştir. Bu işlemlerin ardından, numunelerin çapakları temizlenmiş ve aşınma testlerine hazır hale getirilmiştir. Aşınma testi numunelerinin teknik resim ölçüleri Şekil 3a'da, nitrasyon işlemi uygulanmış ve uygulanmamış test numunelerinin görüntüleri ise Şekil 3b'de verilmiştir.

10 mm çapta ve 20 mm boyda hazırlanan AISI H13 sıcak iş takım çeliği numunelerinin aşınma testi, Turkyus marka pin-on-disk aşınma cihazında yapılmıştır. Testler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiş olup, testler boyunca herhangi bir yağlayıcı kullanılmamıştır. Aşınma takibi Esit Data Logger v1.1.9 programıyla sağlanmıştır.

Teste başlamadan önce aşınma yapılacak tüm yüzeyler P 320 mesh zımpara ile zımparalanarak tüm yüzeylerde aynı yüzey kalitesi sağlanmıştır. Numuneler aşındırıcı zımpara yüzeyine dik hareket ettirilmiş ve sürekli olarak kullanılmamış yeni bir aşındırıcı yüzeyine temas sağlanmıştır. Numunelerin ağırlık kayıpları ± 0.001 g hassasiyetteki RADWAG marka hassas terazide ölçülmüştür. Ayrıca sürtünme katsayısını belirlemek amacıyla cihaza monte edilmiş yük hücre sensörü ile sürtünme kuvvetleri ölçülerek sürtünme katsayıları belirlenmiştir. Aşınma test öncesi ve sonrasında numuneler etil alkol ile temizlenip kurutulmuştur.



Şekil 3. Aşınma test numunelerinin ölçüleri. **(a)** Teknik resim ölçüleri. **(b)** Nitrasyon işlemi uygulanmış ve uygulanmamış numunelerin görüntüleri.

Abrazif aşınma testinde tüm grup numunelerine 5, 10 ve 15 N yük uygulanmış olup kayma hızı 3,33 m/s ve test süresi 30,60 ve 90 s olarak belirlenmiştir. Test parametreleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Abrazif aşınma test parametreleri

Numune Numaraları	Kayma Hızı (m/s)	Uygulanan Yük (N)	Kayma Mesafesi (m)
HAM-1	3,33	5	100
HAM-2	3,33	5	200
HAM-3	3,33	5	300
HAM-4	3,33	10	100
HAM-5	3,33	10	200
HAM-6	3,33	10	300
HAM-7	3,33	15	100
HAM-8	3,33	15	200
HAM-9	3,33	15	300
NİTRÜR-1	3,33	5	100
NİTRÜR -2	3,33	5	200
NİTRÜR -3	3,33	5	300
NİTRÜR -4	3,33	10	100
NİTRÜR -5	3,33	10	200
NİTRÜR -6	3,33	10	300
NİTRÜR -7	3,33	15	100
NİTRÜR -8	3,33	15	200
NİTRÜR -9	3,33	15	300

Testlerde meydana gelen ağırlık kayıpları tespit edilmiş ve Eşitlik 1'den yararlanılarak aşınma testi diyagramları karakterize edilmiştir.

Sürtünme katsayısı (μ) = F/P (1)

Burada F yük hücresi (load-cell) tarafından ölçülen sürtünme kuvveti ve P numunelere uygulanan normal yüktür (Güven vd., 2014).

Hacim kaybı, ağırlık kaybından yararlanılarak Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır (Ovalı, 2012):

Hacim kaybı (mm^3) = (Ağırlık kaybı (kg) / Yoğunluk (kg/m^3)) (2)

Eşitlik 2'de kullanılan yoğunluk değeri 7800 kg/m^3'tür (Ayhansteel, 2021). Eşitlik 2'den elde edilen m^3 cinsinden hacim kaybı mm^3'e çevrilmiştir. Aşınma testleri her numune için üç defa ölçüm gerçekleştirilmiş olup, aşınma oranı Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmıştır (Ovalı, 2012).

Aşınma oranı (mm^3/m) = (Hacim kaybı (mm^3) / Kayma mesafesi (m)) (3)

Aşınma davranışını karakterize edebilmek için hacimsel kayba, aşınma oranına ve sürtünme katsayısına göre araştırmalar yapılmıştır. Ayrıca kayma mesafesinin aşınma davranışına etkisini tespit edebilmek için 100 m, 200 m ve 300 m mesafelerinde testler gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

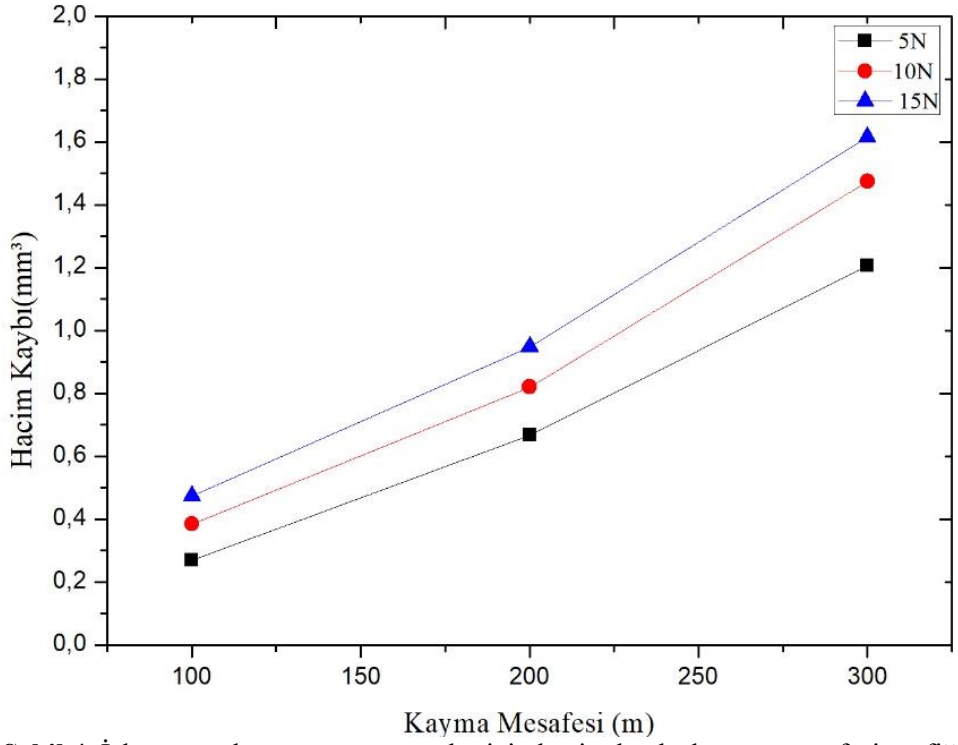
3.1. Nitrasyon İşleminin AISI H13 Çeliğinin Aşınması Üzerindeki Etkisi

AISI H13 üzerinde yapılan nitrasyon işleminin etkinliğini tartışmak ve malzemenin aşınma davranışını karakterize edebilmek için hacim kaybı, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı parametrelerinin etkileri araştırılmıştır.

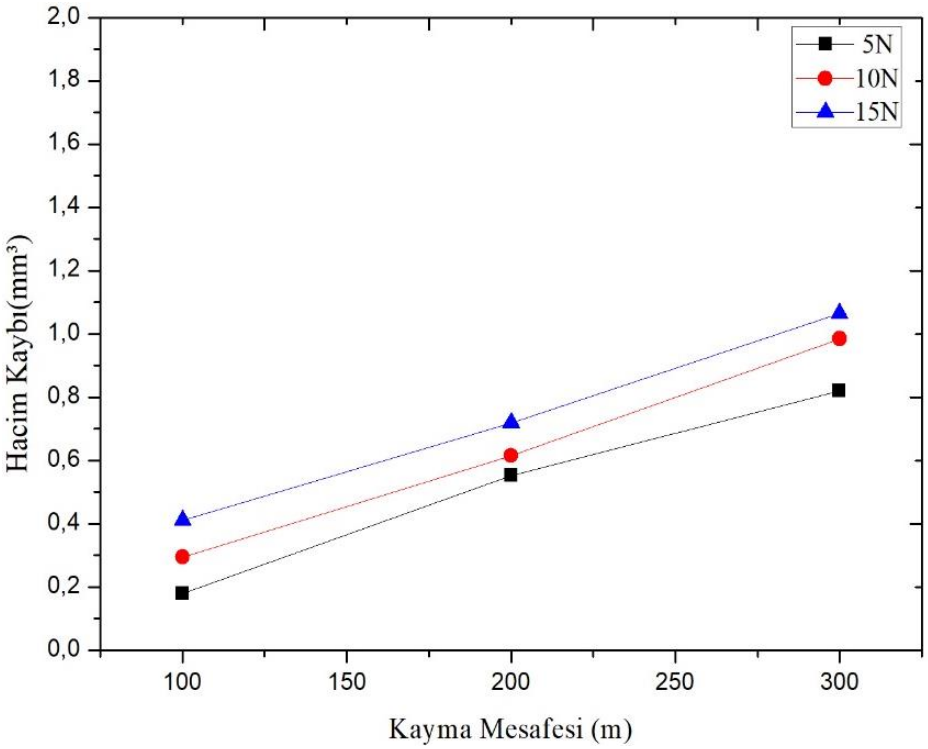
3.1.1 Abrazif Aşınma Testi Hacim Kaybı

Aşağıda verilmiş olan Şekil 4 ve 5'te bulunan grafikler, AISI H13 çeliğinin farklı yükler (5,10 ve 15 N) altındaki aşınma testinde, kayma mesafelerine bağlı olarak hacim kaybı sonuçlarını göstermektedir. İlgili değerler her bir parametreye göre yapılan üç tekrarlı testin aritmetik ortalaması olarak sunulmuştur.

Yapılan abrazif aşınma testinde kayma mesafesinin etkileri hacimsel kayıp grafiklerinden net bir şekilde fark edilmektedir ve kayma mesafesi ile hacim kaybı arasındaki ilişki doğru orantılıdır.



Şekil 4. İşlem uygulanmamış numuneler için hacim kaybı-kayma mesafesi grafiği



Şekil 5. Nitrasyon uygulanmış (2,5 saat) numuneler için hacim kaybı-kayma mesafesi grafiği

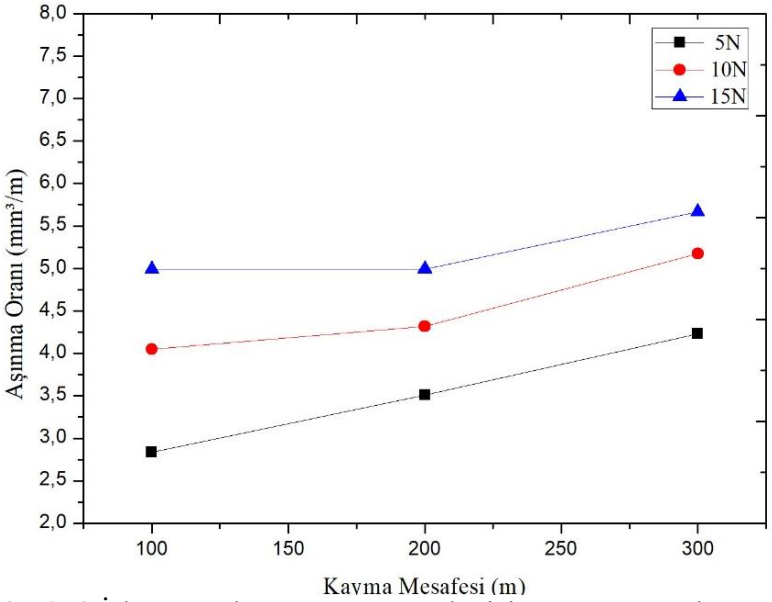
İşlem uygulanmamış numunelerin 5,10 ve 15 N yükler altında 100 m kayma mesafesindeki hacim kayıpları 0,27 mm^3 , 0,39 mm^3 ve 0,48 mm^3 iken, 200 m kayma mesafesindeki hacim kaybı ise sırasıyla 0,66 mm^3, 0,82 mm^3 ve 0,94 mm^3 olarak ölçülmüştür. Son olarak, 300 m kayma mesafesi aralığında 5N yük altında yaklaşık 1,2 mm^3'lük hacim kaybı gözlemlenirken, 10 ve 15 N yük altında ise sırasıyla yaklaşık 1,4 mm^3 ve 1,6 mm^3'lük bir hacim kaybı tespit edilmiştir. Şekil 4'ten görüldüğü üzere, tüm numuneler için, test kuvveti ve kayma mesafesi arttıkça hacimsel kayıplar da artmıştır.

Nitrasyon işlemi uygulanmış numunelerin 5,10 ve 15 N yükler altında 100 m kayma mesafesindeki hacim kaybı incelenecek olursa sırasıyla 0,18 mm^3, 0,30 mm^3 ve 0,41 mm^3 olarak tespit edilmiştir. Kayma mesafesi 200 m ve 300 m iken ise ilgili hacim kayıp değerleri 5, 10 ve 15 N için sırasıyla 0,55 mm^3 , 0,62 mm^3 , 0,72 mm^3 ve 0,82 mm^3 , 0,99 mm^3 , 1,07 mm^3'tür. Son olarak, Şekil 4 ve Şekil 5 kıyaslandığında 15N test yükü altında 100, 200 ve 300 m kayma mesafelerine göre, nitrasyon işlemi uygulanmış numunelerin, uygulanmamış numunelere oranla sırasıyla % 14,5, % 23,5 ve % 33 daha az hacim kaybına uğradıkları belirlenmiştir.

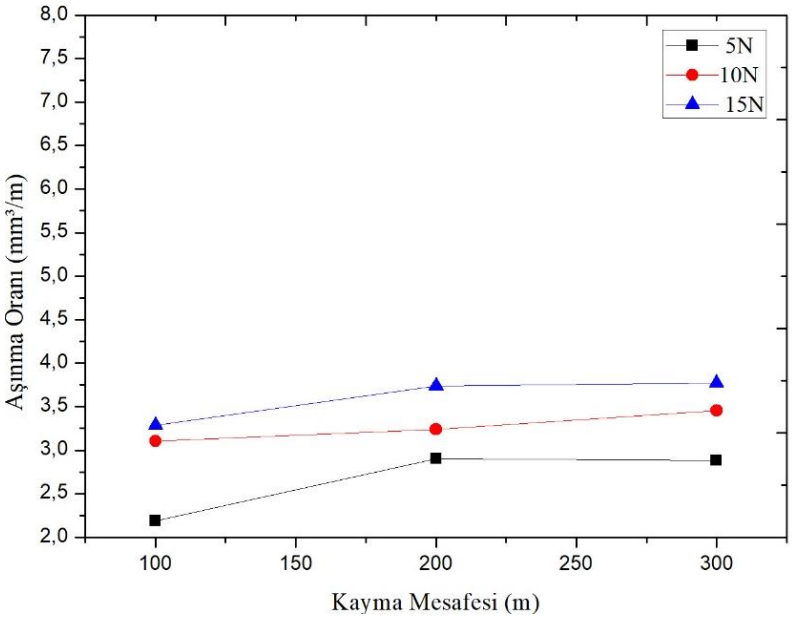
Nitrürleme işlemi uygulanmış deney numunelerinin sertliği literatürdeki çalışmalardan da bilindiği üzere, yüksek olduğu için malzemenin aşınma direncini arttırmış ve hacim kaybını azaltıcı bir etki göstermiştir (Bakdemir vd., 2020; Castro vd., 2007). İşlem görmemiş numuneler ise fazla aşındığı için hacim kaybı daha fazla gerçekleşmiştir.

3.1.2 Abrazif Aşınma Testi Aşınma Oranı

Aşağıda yer alan Şekil 6 ve Şekil 7'deki grafiklerde, kayma mesafelerine bağlı olarak aşınma oranı sonuçları verilmiştir. Yapılan abrazif aşınma testinde kayma mesafesinin etkileri aşınma oranı grafiklerinden belirgin bir şekilde fark edilmektedir.



Şekil 6. İşlem uygulanmamış numuneler için aşınma oranı kayma mesafesi grafiği.

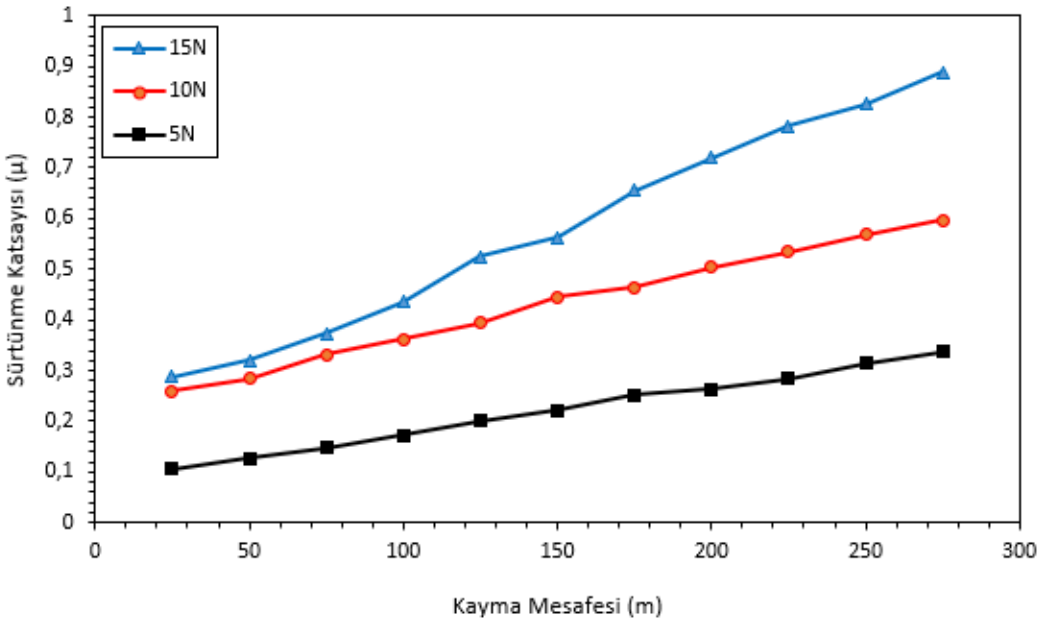


Şekil 7. Nitrasyon uygulanmış (2,5 saat) numuneler için aşınma oranı-kayma mesafesi grafiği

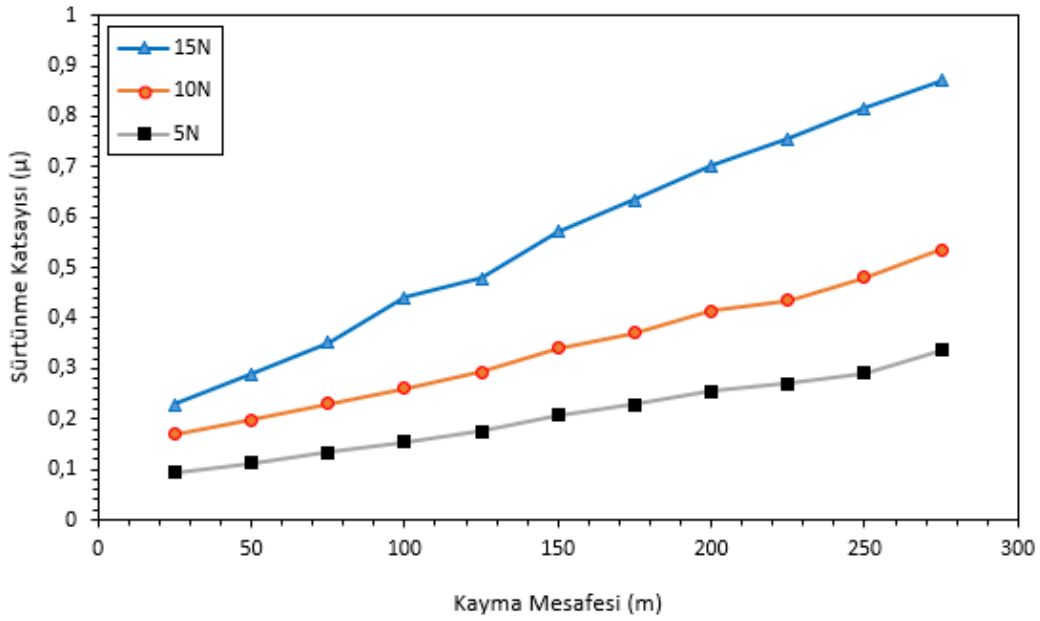
İşlem uygulanmamış numunelerin 5,10 ve 15 N yükler altında 100 m kayma mesafesindeki aşınma oranları incelendiğinde sırasıyla 2,84 mm^3/m , 4,05 mm^3/m ve 4,99 mm^3/m olarak bulunmuştur. 200 m kayma mesafesinde ise bu değerler 3,50 mm^3/m, 4,32 mm^3/m ve yaklaşık 4,99 mm^3/m olarak ölçülmüştür. Görüldüğü üzere, 5 ve 10 N test yüklerinde aşınma oranı belli bir mertebede artış gösterirken 15 N test yükü altında kayda değer bir artış gözlemlenmemiştir. Kayma mesafesi 300 m olduğunda ise, 5 N'da 4,23 mm^3/m, 10 N'da 5,18 mm^3/m ve 15 N'da da 5,67 mm^3/m aşınma oranı gözlemlenmiştir. Tespit edildiği üzere, 200 m'den 300 m kayma mesafesine geçişteki aşınma oranı artışı, 100 m'den 200 m'ye geçişteki aşınma oranı artışından daha yüksek değerde olduğu rapor edilebilir (Şekil 6). Nitrasyon işlemi uygulanmış numunelerin 5,10 ve 15 N yükler altında 100 m kayma mesafesindeki aşınma oranı incelenecek olursa sırasıyla yaklaşık olarak 2,19 mm^3/m , 3,10 mm^3/m ve 3,29 mm^3/m'tür. 200 m kayma mesafesinde ise aşınma oranı değerlerinin 2,90 mm^3/m , 3,24 mm^3/m ve 3,74 mm^3/m olduğu görülmüştür (Şekil 7). Bir başka kayma mesafesi olan 300 m'de yük değeri 5 N iken 2,88 mm^3/m, 10 N'da 3,46 mm^3/m ve 15 N'da 3,78 mm^3/m aşınma oranları kaydedilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7 detaylı olarak incelendiğinde, tüm yükler altında aşınma oranlarının nitrasyon işlemi uygulanmış numunelerde, uygulanmamış numunere nazaran önemli ölçülerde azaldığı söylenebilir. Test yükleri ile birlikte aşınma oranları artmakta iken, kayma mesafeleri ile ilgili aynı ifadeleri söylemek mümkün değildir. Benzer bulgular literatürdeki diğer çalışmalarda da elde edilmiş, nitrasyon işlemi uygulanan numunelerin aşınma oranlarında düşüş tespit edilmiştir (Bakdemir vd., 2020; Wang vd., 2018; Almeida vd., 2015). Ayrıca, aşınma oranının artan kayma mesafeleri ile artışı da literatürdeki bir diğer çalışma ile paralellik göstermektedir (Fernandes vd., 2020).

3.1.3 Abrazif Aşınma Testi Sürtünme Katsayısı Sonuçları

Aşağıda verilmiş olan Şekil 8 ve Şekil 9'daki grafiklerde, AISI H13 çeliğine farklı yükler (5,10 ve 15 N) altında uygulanmış aşınma testinde, kayma mesafelerine bağlı olarak sürtünme katsayısı sonuçları görülmektedir. Şekil 8'e göre kayma mesafesinin artışı ile birlikte sürtünme katsayı değerleri de artış göstermektedir. Bunun yanı sıra, beklendiği üzere test yüklerinin 5 N'dan 15 N'a doğru artışı ile sürtünme katsayı değerlerinde kayda değer artışlar gözlemlenmiştir. Literatürde çelikler üzerinde yapılan ve test yükünün aşınma davranışı üzerindeki etkilerini araştıran diğer çalışmalarda da benzer bir davranış gözlemlenmiştir (Chen vd., 2012). Sürtünme katsayısı değerlerinin maksimum değerleri kayma mesafesinin maksimum olduğu yerlerde ve 5 N, 10 N ve 15 N için sırasıyla 0,88, 0,59 ve 0,33 olarak ölçülmüştür.



Şekil 8. İşlem uygulanmamış numuneler için sürtünme katsayısı-kayma mesafesi grafiği.



Şekil 9. Nitrasyon uygulanmış (2,5saat) için sürtünme katsayısı-kayma mesafesi grafiği.

Şekil 9'a göre nitrasyon işlemi uygulanmış numunelerdeki sürtünme katsayısının kayma mesafesine göre artışı nitrasyon işlemi uygulanmamış numunelerin grafiğine trend açısından benzerlik gösterse de, sürtünme katsayı değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür. Örneğin, 10 N yük altında maksimum kayma mesafesi değerinde nitrasyon işlemi uygulanmamış numunede sürtünme katsayı değeri 0,59 iken, nitrasyon uygulanmış numune ise bu değer 0,53 mertebesindedir. Sürtünme katsayısındaki bu düşüş aşınma miktarındaki azalmanın sebeplerinden birisidir (Xia vd., 2019). Öte yandan, Shimadzu HMV-G Mikro-vickers test cihazı ile yapılan sertlik ölçümlerinden de görüldüğü üzere, nitrasyon işlemi sonucu numune yüzeyinde sertlik artışı meydana gelmekte ve buna bağlı olarak aşınma miktarları azalırken, sürtünme katsayısı değerleri ise artış göstermektedir. Nitrürlü tabakaların ortalama sertlik değeri 920 $HV_{0.05}$ olarak tespit edilirken, tavlanmış olarak temin edilen altlık malzemesi AISI H13 için Brinell test cihazı ile 230 HB sertlik değeri ölçülmüştür.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, AISI H13 sıcak iş çeliğine uygulanan gaz ortam nitrürleme işleminin etkisi; abrazif aşınma kriterleri açısından değerlendirilmiştir.

Deneyler sonucunda şu bulgulara ulaşılmıştır:

- AISI H13 sıcak iş takım çeliğinde nitrasyon işleminden sonra ortalama sürtünme katsayısı değerlerinde altlık malzemesine kıyasla azalma tespit edilmiştir. Bu durum abrazif etkileri azaltmış ve aşınma performansını artırmıştır. Ayrıca, nitrasyon işlemi ile birlikte, literatürde görülenlere paralel olarak yüzeyler sertleşmiştir. Bu durumun da aşınma performansına olumlu katkısı olduğu öne sürülebilir.
- Test yüklerinin artması ile birlikte tüm numunelerin hacim kaybı, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerleri artmaktadır.
- Kayma mesafesinin artışı ile birlikte test yüklerine paralel şekilde hacim kaybı, aşınma oranı ve sürtünme katsayı değerlerinde çoğunlukla artış tespit edilmiştir.
- Nitrasyon işlemi uygulanan numunelerdeki hacim kayıpları, uygulanmamış numunelere nazaran çok daha azdır. 15N test yükü altında 100, 200 ve 300 m kayma mesafelerine göre, nitrasyon işlemi uygulanmış numunelerin, uygulanmamış numunelere oranla sırasıyla % 14,5, % 23,5 ve % 33 daha az hacim kaybına uğradıkları belirlenmiştir.

Kaynaklar

Björk, T., Westergård, R., Hogmark, S. (2001). Wear of surface treated dies for aluminium extrusion – a case study. *Wear, 249,* 316-323.

Taktak, Ş. (2007). Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels. *Materials & Design, 28*(6),1836-1843.

Lee, J.H., Jang, J.H., Joo, B.D., Son, Y.M., Moon, Y.H. (2009). Laser surface hardening of AISI H13 tool steel. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 19*(4), 917-920.

Güven, Ş.Y., Delikanlı, K., Öncel, E. (2014). AISI 4140 Çeliğine Uygulanan İyon Nitrasyon Yüzey Sertleştirme İşleminin Yorulma Dayanımına Etkisi. *SDÜ Teknik Bilimler Dergisi 4*(2), 29-39.

Ergene, B. ve Bolat, Ç. (2020). Determination of thermal stress and elongation on different ceramic coated Ti-6Al-4V alloy at elevated temperatures by finite element method. *Sigma Journal of Engineering and Natural Science, 38*(4), 2013-2026.

Mohanad, M.K. (2016). Modeling of the Case Depth and Surface Hardness of Steel During Ion Nitriding. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 2*(5), 45-49.

Trinadh, K., Nouveau, C., Rao, K.R.M. (2021). Effects of plasma nitriding on low alloy Cr-Mo-V steel. *Materials Today: Proceedings, 40*(1), 79-82.

Kovacı, H. ve Seçer, Y. (2020). Improved tribological performance of AISI 316L stainless steel by a combined surface treatment: Surface texturing by selective laser melting and plasma nitriding. *Surface and Coatings Technology, 400,* 126178.

Sathish, T. (2018). Tribological Properties Predictor for Plasma Nitrided 316L Stainless Steel. *Materials Today: Proceedings, 5*(6), 14545-14552.

Polat, Ş., Atapek, Ş.H., Topaç, H. (2011). Gaz Nitrasyon ile Yüzeyleri Sertleştirilmiş AISI 4140 ve DIN 1.2344 Çeliklerinde Mikroyapısal Karakterizasyon. *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey*

Chang, Y.Y., Amrutwar, S. (2019). Effect of Plasma Nitriding Pretreatment on the Mechanical Properties of AlCrSiN-Coated Tool Steels. *Materials, 12,* 795.

Shen, H. ve Wang, L. (2020). Mechanism and properties of plasma nitriding AISI 420 stainless steel at low temperature and anodic (ground) potential. *Surface and Coatings Technology, 403(*15), 126390.

Yan, M.F., Chen, B.F., Li, B. Microstructure and mechanical properties from an attractive combination of plasma nitriding and secondary hardening of M50 steel. *Applied Surface Science, 455,* 1-7.

Hacısalihoğlu, İ., Yıldız, F., Çelik, A. (2018) Tribocorrosion behavior of plasma nitrided Hardox steels in NaCl solution, *Tribology International, 120,* 434-445.

Ramos, H.E.L., Adonias R.F.J., Vieira, E.A. (2019). Influence of plasma nitriding pressure on microabrasive wear resistance of a microalloyed steel. *Journal of Materials Research and Technology*, *8*(2), 1694-1700.

Akbulut, H. ve Bengü, E. (2004). İki Farklı Sıvı Ortamda Nitrürlenmiş H13 Çeliğinin Aşınma Davranışı. *SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8*(1), 76-83.

Ayhansteel. (2021). https://www.ayhansteel.com/product-details/sicak-is-takim-celikleri/, Son erişim tarihi: 15.04.2021

Nam, N.D., Xuan, N.A., Bach, N.V., Nhung, L.T., Chieu, L.T. (2019). Control Gas Nitriding Process: A Review. *Journal of Mechanical Engineering Research & Developments*, *42(*1), 17-25.

Ovali, İ. (2012). *Küresel Grafitli Dökme Demirlerin Yüzeyinde Çil Oluşumu ve Östemperleme Isıl İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Bakdemir, S.A., Özkan, D., Türküz, M.C., Uzun, E., Salman, S. (2020). Nitrasyon işleminin DIN 1.2344 sıcak iş takım çeliğinin aşınma davranışları üzerine etkileri. *Journal of Naval Sciences and Engineering*, *16*(1), 45-70.

Castro, G., Fernández-Vicente, A., Cid, J. (2007). Influence of The Nitriding Time in The Wear Behavior of An AISI H13 Steel During A Crankshaft Forging Process. *Wear, 263,* 1375–1385.

Wang, B., Zhao, X., Li, W., Qin, M., Gu, J. (2018). Effect of nitrided-layer microstructure control on wear behavior of AISI H13 hot work die steel. *Applied Surface Science, 431,* 39-43.

Almeida, E.A.D.S., Milan, J.C.G., Costa, C.E. (2015). Acquired Properties Comparison of Solid Nitriding, Gas Nitriding and Plasma Nitriding in Tool Steels. *Materials Research, 18,* 27-35.

Fernandes, F.A.P., Heck, S.C., Picone, C.A., Casteletti, L.C. (2020). On the wear and corrosion of plasma nitrided AISI H13. *Surface & Coatings Technology, 381*, 125216.

Pei, Y., Xia, D., Wang, S., Cong, L., Wang, X., Wang, D. (2019). Effects of temperature on the tribological properties of NM600 under sliding wear. *Materials,12,* 4009.

Chen, G., Wei, Y., Li, S., Zhou, W. (2012). Friction and Wear Mechanism of Unlubricated 304L

Austenitic Stainless Steel at Room Temperature. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. 27,* 222-226.

Investigation of Change in Properties of Al_2O_3 Water Based Nanofluids with Time

Aycan ALTUN*[1], Osman Nuri ŞARA[1],
[1]Bursa Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Chemical Engineering, 16310, Bursa

Abstract

This study aims to examine the property changes of nanofluids prepared with and without surfactant related to temperature and time. Within this scope, two different Al_2O_3-water based nanofluids were prepared using with and without Tween 80 surfactant. Half of the obtained nanofluids were exposed to 60 °C for 1 hour throughout 60 days. Two main thermal properties, namely viscosity and thermal conductivity, and contact angle of nanofluids were measured at regular intervals for 60 days. Each nanofluid was stirred for 1 hour at room temperature before measurements were conducted. Transient hot-wire method was used for thermal conductivity measurements. Viscosity values of nanofluids were determined by rheometer. It was observed that applying heat generally positively affected the thermal conductivity of each nanofluid with and without surfactant, and the viscosity of nanofluids generally varied with heating according to the presence of a surfactant or not. Thermal conductivity and viscosity values of nanofluids were changed nonlinearly with respect to time. Contact angles were measured after 60 days, and it was observed that the contact angle of all samples tended to increase. Also, absorbance values at 200 – 800 nm wavelength of nanofluids were analyzed.

Keywords: Al_2O_3, Hysteresis, Nanofluid, Surfactant, Temperature

1. Introduction

Conventional fluids, used as thermal fluids, are utilized in many different engineering areas such as chemical process, transportation, power generation, space and defense, cooling and heating, and microelectronics. However, conventional fluids have poor thermal specialities compared to most of the solids that restrains the progress of heat transfer equipment. For this reason, new heat transfer fluids presenting enhanced thermophysical properties have been one of the major areas of research. Since solid particles have high thermal conductivity, several studies, including solid particles are suspended in traditional fluids, have been carried out (Duangthongsuk and Wongwises, 2010). Since particles having millimeter or micrometer size cause clogging of flow channels, stability problems, and variation in thermophysical properties, nano-sized particles are dispersed in base liquids, called nanofluids (Choi and Eastman, 1995). One-step or single-step, and two-step methods have been applied to obtain nanofluids. While synthesizing particle and dispersing in a base fluid occur simultaneously, is known as the one-step method, two-step method can be described as synthesized particles and suspension in a base fluid, separately. Thermophysical properties of the fluids such as thermal conductivity, density, specific heat capacity and viscosity change with the addition of particles to fluids. Banisharif et al. investigated thermophysical properties of nanofluids, including Fe_3O_4 particles and water ethylene glycol mixture, at different concentrations (0.01 vol%, 0.05 vol%, 0.1%). They found that thermal conductivity values of nanofluids prepared with 0.1 vol% were enhanced up to 9.5% and 14.3% at 263.15 K and 293.15 K, respectively. Besides, it was observed that the dynamic viscosity value of nanofluids reduced to 40% with nanoparticle content, especially below 273.15 K. While surface tension of nanofluids increased with Fe_3O_4 particle concentration, adding surfactant reduced surface tension values (Banisharif et al., 2020). Freitas et al. studied thermophysical and rheological properties of MWCNT and COOH–MWCNT nanofluids. Arabic gum and Triton X-100 surfactants were used as stabilizers. Maximum thermal conductivity enhancement was obtained to be 15% for nanofluid prepared with 1 wt% COOH–MWCNT at 60 °C. Specific heat decreased with MWCNT concentration and increased with temperature. The viscosity of the nanofluids with 1 wt% particle concentration increased to 5.5 times base fluid at 60 °C

(Freitas et al., 2020). Thermophysical properties of Al_2O_3 water based nanofluids with SDBS surfactant were evaluated by Gallego et al. Thermal conductivity improvement of nanofluid with 1.0 wt% particle concentration was between 11% and 15%. Nanofluid without surfactant exhibited pseudoplastic behavior. However, nanofluids prepared with SDBS demonstrated Newtonian behavior, and similar viscosity values of nanofluids to those of water were found. Moreover, it was observed that the surface tension of nanofluids reduced with surfactant and increased with Al_2O_3 concentration (Gallego et al., 2020). Spreading liquids onto solid surfaces is measured through contact angle having many industrial and practical applications such as condensation, boiling, phase change heat transfer, coating, the enhanced oil recovery process, detergent system. (Kazemzadeh et al., 2019, Çobanoğlı et al., 2019, Vafaei et al., 2011, Wasan and Nikolov, 2003). Solid surface roughness; physical properties of solid, liquid, and gas; homogeneity of liquid and solid substrates are the factors that believed to be effective on surface wettability. Contact angle hysteresis is mainly affected by homogeneity and solid surface roughness (Vafaei et al., 2011). Radiom et al. investigated the equilibrium contact angle of TiO_2 water-based nanofluids by using borosilicate glass slides. They reported that nanoparticle concentration significantly affected the contact angles of nanofluids, and contact angles generally increased with increment in particle concentration (Radiom et al., 2010). Chinnam et al. performed contact angle measurements of four nanofluids, including Al_2O_3, ZnO, TiO_2 and SiO_2 particles dispersed in 60:40 PG/W. While the contact angles of nanofluids decreased with temperature, the rise in particle concentration caused a decrement in the contact angle (Chinnam et al., 2015).

Although there have been many studies about the thermophysical properties of nanofluids prepared with different particle types and concentration, base fluids, surfactant types and concentration, etc., a few researchers investigated hysteresis behavior under different conditions. Hysteresis is a critical issue because of the effects on energy consumption and necessary power for pumping (Demirkır and Ertürk, 2020). Nguyen et al. studied the effects of temperature and particle size on the dynamic viscosity of water-CuO and water-Al_2O_3 nanofluids. They reported that the viscosity of Al_2O_3 water-based nanofluids having less than 4% in particle volume fraction exhibited approximately identical values. On the other hand, for higher than 4% particle concentration, the viscosities of nanofluids prepared with 47 nm particle size were observed high compared to 36 nm particle size. Besides, viscosities of CuO water-based nanofluid have the maximum values among the analyzed nanofluids (Nguyen et al., 2007). Another study of the same researchers reported that suspension particles significantly changed above the critical temperature, which strongly affected a hysteresis phenomenon. The critical temperature was dependent on particle concentration and particle size. They concluded that severe concerns about the reliability of usage nanofluids to improve heat transfer due to the hysteresis phenomenon (Nguyen et al., 2008). Said et al. analyzed the impacts of low volume concentration and temperatures on the dynamic viscosity. Al_2O_3 water-based and Al_2O_3 ethylene glycol/water based nanofluids were prepared. While alumina water-based nanofluid with 0.05 vol% showed Newtonian behavior at less than 40 °C, non-Newtonian behavior was observed for nanofluids having higher concentrations at the temperature of higher than 40 °C. They reported that the critical temperature played an important role in changing particle suspension that caused hysteresis phenomenon (Said et al., 2014). Hysteresis phenomenon of graphene water nanofluid was evaluated by Demirkır and Ertürk according to the rheological and thermal properties. The graphene-water nanofluids with different particle concentrations (from 0.1 wt% to 2.0%) and PVP surfactant ratios were prepared. They reported that hysteresis happened for the nanofluids, having higher than 1% particle weight fractions, at the temperature above 40 °C when raising and reducing the shear rates with keeping speed ranges the same (Demirkır and Ertürk, 2020). Jiang et al. investigate the impacts of high temperature on absorbance, viscosity, and thermal conductivity of six types of ammonia-water nanofluids. A group of the nanofluid samples was exposed to 120 °C and cooled at room temperature. Then absorbance, viscosity, and thermal conductivity measurements of the nanofluids were conducted. The heating process was not applied to the other group and measured their properties to make a comparison. They observed that after heating, the thermal conductivity of most of the nanofluids enhanced by approximately 3%-12%. The viscosity of the nanofluids generally increased except γ-TiO_2 ammonia–water nanofluid decreased by between 2% and 7% (Jiang et al., 2017). In the present study, property changes of Al_2O_3-water based nanofluids prepared with and without surfactant with respect to temperature and time have been investigated experimentally.

2. Material and Methods

Al_2O_3 and water were used as nanoparticles and base fluid. A two-step method was utilized to prepare nanofluids with 0.3% particle volume ratio. After water and polyoxyethylene glycol sorbitan monooleate (Tween 80) surfactant at the weight ratio of 0.2% were mixed with a magnetic stirrer for one hour, Al_2O_3 particles were added to surfactant water solution to obtain nanofluid, including the surfactant. Table 1 presents the properties of the used chemicals. To prepare nanofluid without surfactant, water and Al_2O_3 particles were stirred with a magnetic stirrer for one hour. After half of both nanofluids with and without surfactant were heated at 60 °C for one hour, they were stirred for one hour at room temperature. The other half nanofluids were mixed for one hour at room temperature only. Sample numbers according to the treatments are given in Table 2.

A rheometer (Anton Paar) was used for viscosity measurements with two replicates. The thermal conductivity measurements of nanofluids were conducted with the Thermtest THW-L2 instrument, which is based on the transient hot-wire method. Ten measurements were performed to evaluate the thermal conductivity of nanofluids. Measurements were carried out at regular intervals for 60 days at a temperature of 25 °C. Contact angle analysis was carried out with Attension / Theta Lite optical contact angle meter using the static drop method. Droplets with a known amount were dropped on plexiglass and stainless steel substrates with the help of an automatic pipette. The images were directly taken after the deposition of droplets to reduce the probability of evaporation impact. Three tests were conducted, and average values were calculated.

Table 1. Properties of used chemicals.

Materials	**Properties**	**Values**
Al_2O_3	Average particle size (nm)	18
	Specific heat capacity (J/kg.K)	890
	Thermal conductivity (W/m.K)	40
	True density (kg/m^3)	3900
Tween 80	CAS number	9005-65-6
	Density (g·cm^{-3})	1.07

Table 2. Types of nanofluids according to the treatments.

Sample No	**Nanofluids**
1	Nanofluids with surfactant and temperature
2	Nanofluids with surfactant
3	Nanofluids with temperature
4	Nanofluids

3. Results and Discussion

Thermal conductivity, viscosity, contact angle and UV-vis measurement of the obtained nanofluids were carried out.

3.1. Thermal Conductivity Measurement

Thermal conductivity values of nanofluids were measured at different intervals. The thermal conductivity ratios of nanofluids with a surfactant to that of water are given in Figure 1. According to Figure 1, thermal conductivity ratios of nanofluids with and without temperature application are close to each other and changed irregularly with days. The initial thermal conductivity values of both nanofluids were lower than the final thermal conductivity values.

It is thought that any enhancement in thermal conductivity for nanofluids prepared using the same particle ratio is due to dispersion and particle aggregation. In addition to the mixing theory, mechanisms such as Brownian motion of particles, aggregation of particles, and nanolayers around the particles are suggested as possible mechanisms for the enhancement of thermal conductivity in nanofluids (Azizian et al., 2016). Other researchers have emphasized that aggregation growth may increase thermal conductivity with increasing size. It is also believed, however, that there is an optimum aggregation point and after this point is reached, the increase in thermal conductivity decreases due to settlement (Prasher et al., 2006, Wen et al., 2009). It has also been stated that aggregation in the right direction and good dispersion are effective for increasing thermal conductivity (Azizian et al., 2016). Also, Prolonged mixing may have resulted in better dispersion of nanoparticles, which may have resulted in improved thermal conductivity. Figure 2 demonstrates the change of thermal conductivity ratio of nanofluids without surfactant. Both nanofluids have similar thermal conductivity ratios, according to Figure 2. Similar to Figure 1, it was seen that the last measurement values were higher than the first measurement values for nanofluids prepared without surfactant. Thermal conductivity data were analyzed by Kruskal–Wallis test, which is a nonparametric statistical test. Differences in values regards to time were considered statistically significant ($p < 0.05$). Sample 1 with surfactant and temperature has the most significant difference with a p-value = 0.001498. Additionally, to analyze temperature effects, sample 1 with sample 2 and sample 3 with sample 4 were compared by Wilcoxon signed-rank test. Results showed that the application of temperature (60 °C) was significantly effective on thermal conductivity values ($p < 0.05$). Jiang et al. investigated the effects of high temperature on thermal conductivity. They reported that applying heating process resulted in enhanced thermal conductivity ratios for $ZnFe_2O_4$, γ-Fe_2O_3, Carbon black and γ-TiO_2 nanofluids with 25 wt% NH_3, but the thermal conductivity ratio of TiN and γ-Al_2O_3 nanofluid decreased. If nanofluids are heated above the critical temperature, surfactant role is reduced, and precipitation of particles occurs. On the other hand, Brownian motion enhance the distribution of particles at high temperature (Jiang et al., 2017).

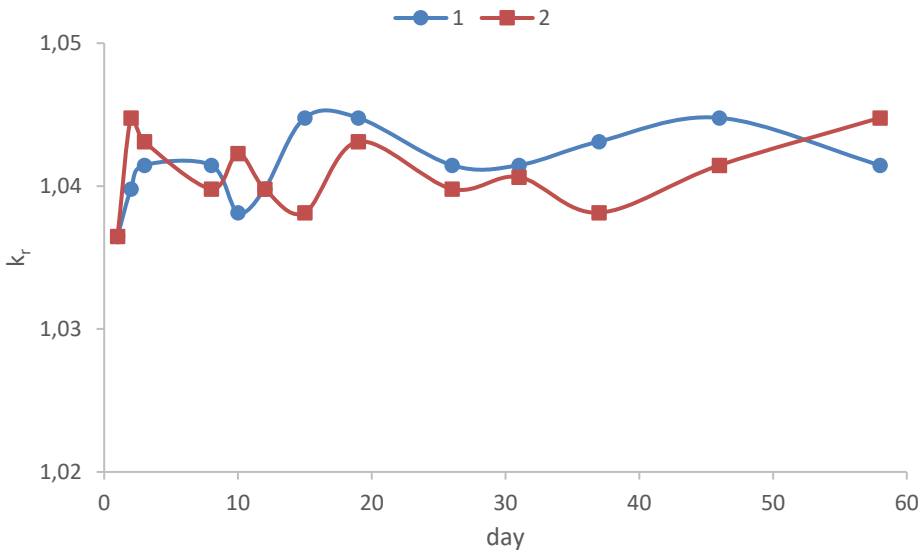


Figure 1. Thermal conductivity of nanofluids with surfactant.

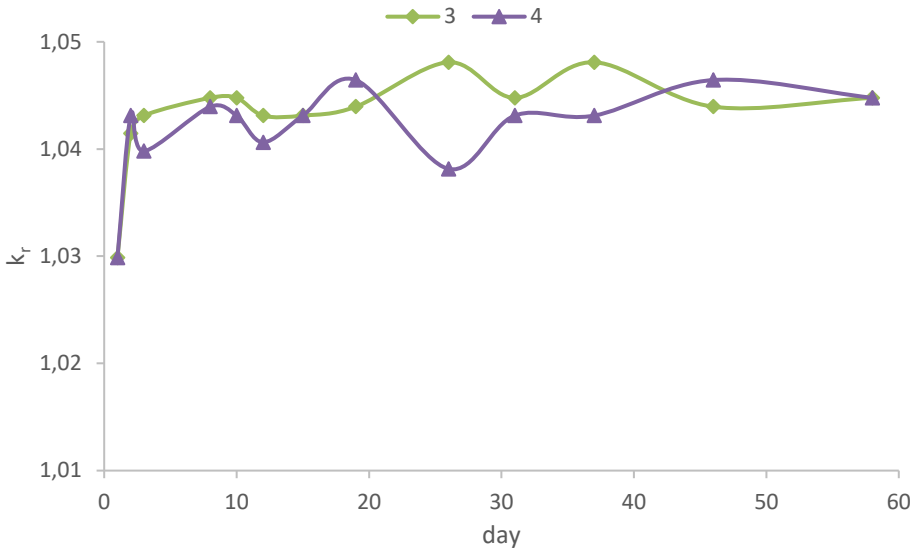


Figure 2. Thermal conductivity of nanofluids without surfactant.

3.2. Viscosity Measurement

Viscosity values of nanofluids were measured at different intervals. The viscosity ratios of nanofluids with a surfactant to that of water are given in Figure 3. Figure 4 shows the change of thermal conductivity ratio of nanofluids without surfactant. According to Figures 3 and 4, the viscosity ratios of nanofluids with and without temperature application change irregularly with days. The viscosity value of nanofluid with surfactant is less than that without surfactant. Surfactants can decrease the viscosity of the solution (Nagvenkar et al., 2016). Sample 1 and sample 2 were compared to each other using by Wilcoxon signed-rank test. According to the results, the application of temperature (60 °C) was an influential factor for nanofluids prepared with surfactant ($p < 0.05$). Jiang et al. observed that the heating process caused an increase in the viscosity ratio of nanofluids except for γ-TiO_2 nanofluid (Jiang et al., 2017). The change of viscosity with time was investigated by Kruskal–Wallis test. The factor of time was found to be effective on viscosity at a 95% significance level ($p < 0.05$).

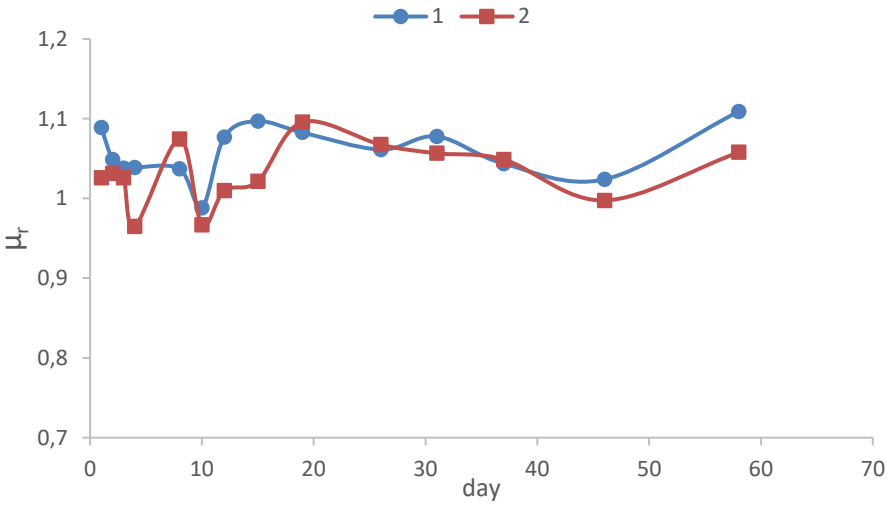


Figure 3. Viscosity of nanofluids with surfactant.

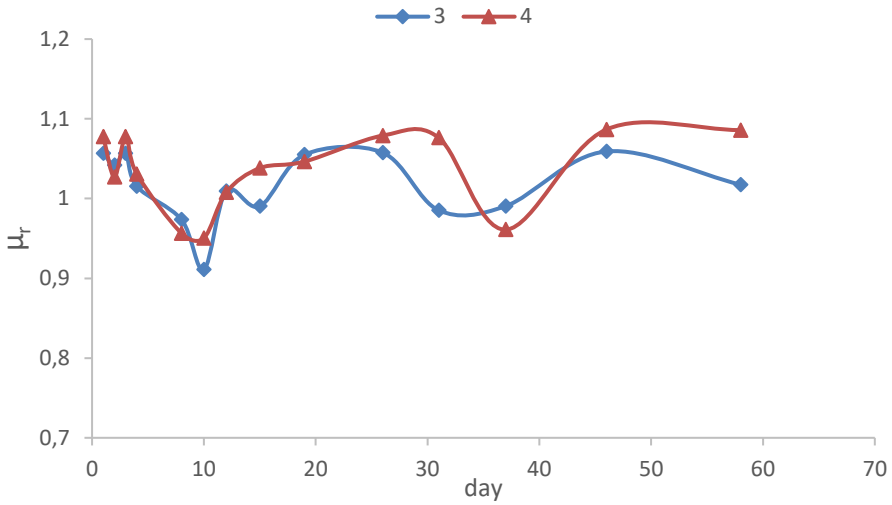
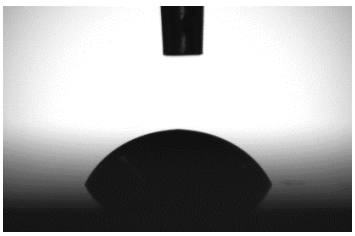


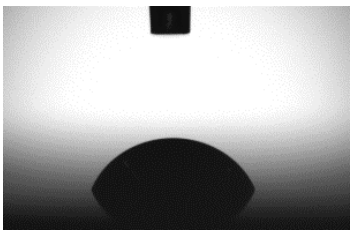
Figure 4. Viscosity of nanofluids without surfactant.

3.3. Contact Angle Measurement

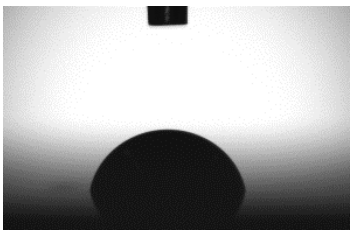
Before the measurement of nanofluids, contact angles of water on plexiglass and stainless steel at room temperatures were measured as 77.0° and 87.1°, respectively. Contact angle values of water and nanofluids prepared with and without surfactant at initial state are given in Figure 5. It was observed that surfactant addition reduced the contact angle of nanofluids. Besides, contact angles of fluids on plexiglass were higher than those on the stainless steel substrate. Cieśliński and Krygier investigated the effect of the substrate on contact angles of water–TiO_2 nanofluid. According to the results, contact angle of nanofluid on glass substrate was smaller than that on stainless steel. The effects of the substrate on contact angle arise from complex molecular, chemical and electrostatic interactions between the nanoparticles, surface materials and liquid molecules near the triple line. Surface forces and disjoining pressure, which is one of the significant manifestations of surface forces result in these interactions (Cieśliński and Krygier, 2014). Hernaiz et al. conducted a study about temperature effects on the contact angle of alumina nanofluids without surfactant. They used stainless steel substrate. Contact angles were found as 96.00°, 88.96° and 81.90° at the temperature of 19 °C, 22 °C and 25 °C (Hernaiz et al., 2019). Obtained values are so close to the values in the present study. After 60 days, contact angles were measured, and it was observed that the contact angle of all samples increased in small amounts. The increase rate in contact angle of nanofluids with surfactant was observed to be high compared to nanofluid without surfactant. Although temperature may considerably affect the surfactant that caused a higher contact angle, nanofluids prepared without surfactant was not significantly affected by temperature application.



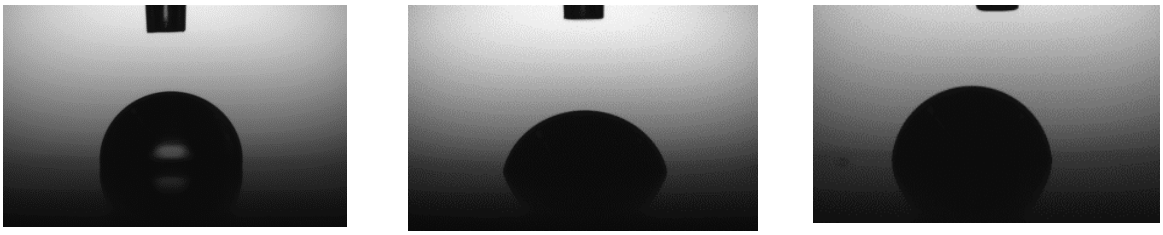
Water plexiglass CA = 77.0°



Nanofluids with surfactant plexiglass CA = 72.0



Nanofluids without surfactant plexiglass CA= 77.8



Water stainless steel CA = 87.1°

Nanofluids with surfactant stainless steel CA = 78.9

Nanofluids without surfactant stainless steel CA=86.2

Figure 5. Examples of contact angles of fluids on plexiglass and stainless steel surface at initial state.

3.4. Absorbance of Nanofluids

Absorbance values at 200 – 800 nm wavelength of nanofluids are shown in Figure 6. Anushree and Philip investigated the stability of γ-Al_2O_3 nanofluids using UV–visible spectroscopy. They used a whole wavelength range of 300–900 nm to plot absorbance values of nanofluids (Anushree and Philip, 2016). According to Figure 6, all nanofluids have similar absorbance values, but absorbance values of heat applied nanofluid were found to be less than nanofluid without heating for nanofluids prepared with surfactant. Additionally, heat applied nanofluid without surfactant has higher absorbance compared to nanofluid without heating. Jiang et al. observed absorbance values of different nanofluids. They reported that absorbance values of nanofluids, except γ-TiO_2 nanofluid, decreased after heating treatment (Jiang et al., 2017).

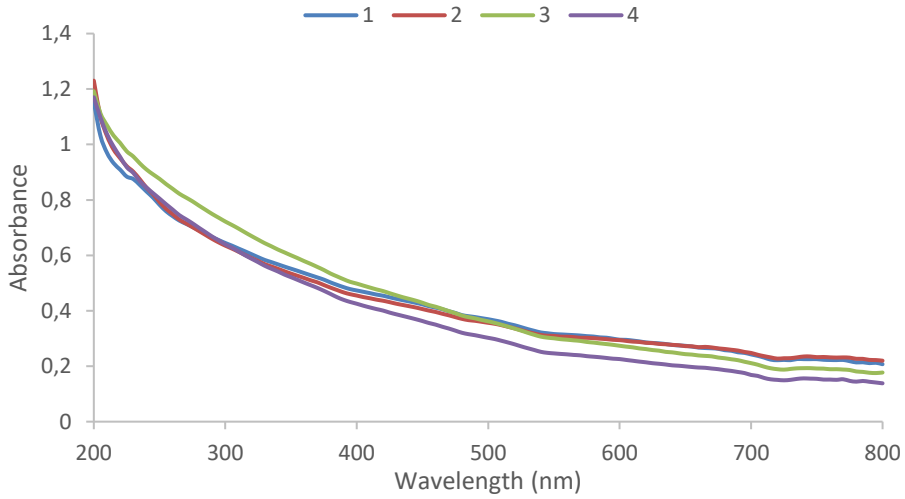


Figure 6. UV–VIS spectra of Al_2O_3 nanofluids with and without surfactant.

4. Conclusion

In this study, the property changes of nanofluids prepared with and without surfactant according to time and the influence of heating on the properties have been investigated. Al_2O_3-water based nanofluids were prepared with and without Tween 80 surfactant by two step method. Half of the obtained nanofluids were exposed to 60 °C for 1 hour throughout 60 days. Before the measurement, each nanofluid was stirred at room temperature for 1 hour. The viscosity, thermal conductivity, and contact angle of nanofluids were measured at regular intervals for 60 days. Besides, absorbance values of nanofluids were evaluated by UV-VIS spectroscopy. The thermal conductivity values of nanofluids with heating were compared to

those of nanofluid without heating, and it was found that heat applied nanofluids generally have high thermal conductivity values. In nanofluids containing surfactant, it was found that the viscosity value of the heat applied nanofluid was higher than without heating, whereas the application of heat in nanofluids without surfactant generally caused a decrease in viscosity. Moreover, contact angles of nanofluids on plexiglass and stainless steel substrate at room temperatures were measured. Contact angles were measured after 60 days, and it was observed that the contact angle of all samples tended to increased. The increase rate in contact angle of nanofluids prepared with surfactant was obtained to be high compared to nanofluid without surfactant. Absorbance values at 200 – 800 nm wavelength of nanofluids were analyzed, and the values were observed to be so close to each other.

References

Anushree, C. and Philip, J. (2016). Assessment of long term stability of aqueous nanofluids using different experimental techniques. *Journal of Molecular Liquids*, *222*, 350-358.

Azizian, R., Doroodchi, E., & Moghtaderi, B. (2016). Influence of controlled aggregation on thermal conductivity of nanofluids. *Journal of Heat Transfer*, *138*(2).

Banisharif, A., Aghajani, M., Van Vaerenbergh, S., Estellé, P. and Rashidi, A. (2020). Thermophysical properties of water ethylene glycol (WEG) mixture-based Fe3O4 nanofluids at low concentration and temperature. *Journal of Molecular Liquids*, *302*, 112606.

Chinnam, J., Das, D., Vajjha, R. and Satti, J. (2015). Measurements of the contact angle of nanofluids and development of a new correlation. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, *62*, 1-12.

Choi, S. U. and Eastman, J. A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles (No. ANL/MSD/CP-84938; CONF-951135-29). Argonne National Lab., IL (United States).

Cieśliński, J. T. and Krygier, K. A. (2014). Sessile droplet contact angle of water–Al2O3, water–TiO2 and water–Cu nanofluids. Experimental Thermal and Fluid Science, 59, 258-263.

Çobanoğlu, N., Karadeniz, Z. H., Estellé, P., Martínez-Cuenca, R. and Buschmann, M. H. (2019). Prediction of Contact Angle of Nanofluids by Single-Phase Approaches. *Energies*, *12*(23), 4558.

Demirkır, Ç. and Ertürk, H. (2020). Rheological and thermal characterization of graphene-water nanofluids: hysteresis phenomenon. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *149*, 119113.

Duangthongsuk, W. and Wongwises, S. (2010). An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO2-water nanofluids flowing under a turbulent flow regime. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, *53*(1-3), 334-344.

Freitas, S. S., Silveira, V., Jabardo, J. M. S. and Arce, A. C. (2020). MWCNT and COOH–MWCNT aqueous nanofluids: thermophysical and rheological characterization. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, *42*(8), 1-22.

Gallego, A., Cacua, K., Herrera, B., Cabaleiro, D., Piñeiro, M. M. and Lugo, L. (2020). Experimental evaluation of the effect in the stability and thermophysical properties of water-Al2O3 based nanofluids using SDBS as dispersant agent. *Advanced Powder Technology*, *31*(2), 560-570.

Hernaiz, M., Alonso, V., Estellé, P., Wu, Z., Sundén, B., Doretti, L., ... and Buschmann, M. H. (2019). The contact angle of nanofluids as thermophysical property. *Journal of colloid and interface science*, *547*, 393-406.

Jiang, W., Du, K., Li, Y. and Yang, L. (2017). Experimental investigation on the influence of high temperature on viscosity, thermal conductivity and absorbance of ammonia–water nanofluids. *International Journal of Refrigeration*, *82*, 189-198.

Kazemzadeh, Y., Shojaei, S., Riazi, M. and Sharifi, M. (2019). Review on application of nanoparticles for EOR purposes: A critical review of the opportunities and challenges. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, *27*(2), 237-246.

Nagvenkar, A. P., Deokar, A., Perelshtein, I. and Gedanken, A. (2016). A one-step sonochemical synthesis of stable ZnO–PVA nanocolloid as a potential biocidal agent. *Journal of Materials Chemistry B*, *4*(12), 2124-2132.

Nguyen, C. T., Desgranges, F., Roy, G., Galanis, N., Maré, T., Boucher, E. and Mintsa, H. A. (2007). Temperature and particle-size dependent viscosity data for water-based nanofluids–hysteresis phenomenon. *International journal of heat and fluid flow*, *28*(6), 1492-1506.

Nguyen, C. T., Desgranges, F., Galanis, N., Roy, G., Maré, T., Boucher, S. and Mintsa, H. A. (2008). Viscosity data for Al2O3–water nanofluid—hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable?. *International journal of thermal sciences*, *47*(2), 103-111.

Prasher, R., Phelan, P. E., & Bhattacharya, P. (2006). Effect of aggregation kinetics on the thermal conductivity of nanoscale colloidal solutions (nanofluid). *Nano letters*, *6*(7), 1529-1534.

Radiom, M., Yang, C. and Chan, W. K. (2010, April). Characterization of surface tension and contact angle of nanofluids. In *Fourth International Conference on Experimental Mechanics* (Vol. 7522, p. 75221D). International Society for Optics and Photonics.

Said, Z., Sajid, M. H., Saidur, R., Rahim, N. A. and Bhuiyan, M. H. U. (2014). Rheological behaviour and the hysteresis phenomenon of Al2O3 nanofluids. *Materials Research Innovations*, *18*(sup6), s6-47.

Vafaei, S., Wen, D. and Borca-Tasciuc, T. (2011). Nanofluid surface wettability through asymptotic contact angle. *Langmuir*, *27*(6), 2211-2218.

Wasan, D. T. and Nikolov, A. D. (2003). Spreading of nanofluids on solids. *Nature*, *423*(6936), 156-159.

Wen, D., Lin, G., Vafaei, S., & Zhang, K. (2009). Review of nanofluids for heat transfer applications. Particuology 7 (2): 141–150.

Eksenel Simetrik Bir Atmosferik Brülörde Enjeksiyon Parametrelerinin Hava-Yakıt Karışmasına Etkisinin Nümerik Modellenmesi

Seyda ÖZBEKTAŞ[1,a], Bilal SUNGUR[2,b], Bahattin TOPALOĞLU[1,c]
[1]*Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 55200, Samsun*
[2] *Samsun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 55420, Samsun*

Özet

Fosil enerji kaynaklarının azalmasıyla birlikte araştırmacılar, var olan kaynaklara alternatif olabilecek yeni arayışlara ve mevcut kaynakları daha verimli kullanmaya yönelmiştir. Yakma sistemlerinin verimini etkileyen önemli unsurlardan birisi yanma kalitesidir. Atmosferik yakıcılar, gaz yakıtın durgun hava içine enjekte edilerek gereken yakma havasını (emmek suretiyle) yakıtın kendisinin temin ettiği yakıcılardır ve bu yakıcılarda yanma kalitesini belirlemede hava-yakıt karışma oranları önemli bir yere sahiptir. Bu çalışma kapsamında örnek bir atmosferik brülörde enjektör çapının ve enjeksiyon hızının hava-yakıt karışmasına etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Hesaplamalar iki boyutlu olarak eksenel simetrik şartlarda gerçekleştirilmiştir. Türbülansın modellenmesinde Standard k-ε modeli kullanılmıştır. Enjektör çapı ve enjeksiyon hızına göre oluşan hız vektörleri, hız akım çizgileri, basınç konturları, mol konsantrasyonları, efektif viskozite konturları ve hava-yakıt karışım oranları incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Enjeksiyon parametreleri olarak enjeksiyon hızları 50, 70 ve 90 m/s, enjektör çapları ise 0.5, 0.75 ve 1 mm seçilmiştir. Yakıt giriş hızı 50 m/s'den 90 m/s'ye çıktığında hava fazlalık katsayısındaki en büyük artış %9.78 oranında 1 mm enjektör çapında oluşmuştur. Enjektör çapı 0.5 mm'den 1mm'ye çıktığında hava fazlalık katsayısındaki düşüş miktarı, üç yakıt giriş hızında da neredeyse aynı olmakla birlikte 50 m/s yakıt giriş hızı için %51.34 oranında gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atmosferik brülör, Enjektör, Nümerik modelleme

Numerical Modelling of the Effect of Injection Parameters on Air-Fuel Mixing in an Axial Symmetric Atmospheric Burner

Abstract

With the decrease of fossil energy resources, researchers have started to new searches that can be alternatives to existing resources and to use existing resources more efficiently. One of the important factors affecting the efficiency of combustion systems is combustion quality. Atmospheric burners are burners in which the fuel itself provides the required combustion air (by sucking) by injecting the gaseous fuel into the still air, and the air-fuel mixing ratios have an important place in determining the combustion quality in these burners. In this study, the effect of injector diameter and injection velocity on air-fuel mixing in a sample atmospheric burner was investigated numerically. Calculations were carried out two dimensionally at axisymmetric conditions. The Standard k-ε model was used to model turbulence. The results were evaluated by examining the velocity vectors, velocity streamlines, pressure contours, mole concentrations, effective viscosity contours and air-fuel mixture ratios according to the injector diameter and injection speed. As injection parameters, injection velocities of 50, 70 and 90 m/s and injector diameters of 0.5, 0.75 and 1 mm were selected. When the fuel inlet velocity increased from 50 m/s to 90 m/s, the greatest increase in the excess air coefficient occurred at a rate of 9.78% with 1 mm injector diameter. When the injector diameter increased from 0.5 mm to 1 mm, the amount of decrease in the excess air coefficient was almost the same at all three fuel inlet velocities, but was 51.34% for the 50 m/s fuel inlet velocity.

Keywords: Atmospheric burner, Injector, Numerical modelling

1. Giriş

Enerjinin her sektörde kullanılması sebebiyle enerji ile ekonomi arasında ayrılmaz bir ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle ülkeler ellerindeki kısıtlı enerji kaynaklarını verimli bir şekilde kullanmak zorundadırlar. Artan nüfus ve gelişen teknolojiyle birlikte günlük yaşamın vazgeçilmez unsurlarından birisi olan enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Enerji tüketiminin önemli bir kısmı evsel ısınma ve elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Enerjinin verimli kullanılması bu ihtiyaçları karşılamak açısından da önem arz etmektedir. Bununla birlikte enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtlar (kömür, petrol ve doğal gaz gibi) giderek tükenmektedir ve çevreye zararlı emisyonlar yaymaktadır.

Yakıtlar durumlarına göre katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırılabilir. En çok bilinen ve kullanılan gaz yakıt doğalgazdır. Doğalgaz, endüstride ve yerleşim alanlarında ısıtma için öncelikli olarak kullanılmaktadır. Ayrıca, elektrik üretmek için gaz türbin yakıcılarında da kullanılmaktadır. Doğal gaz kullanımının artmasıyla birlikte karbon emisyonlarında da artış beklenmektedir. Enerji fiyatlarının gün geçtikçe artması da doğalgazın uygun gerekli brülör değişimleri ile verimli kullanımı gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Gaz yakıtlı brülörlerde verim artışı sağlayabilmek için pek çok parametre değiştirilebilir. Bunlara örnek olarak, brülör geometrisi, yakıt tipi, birincil ve ikincil hava miktarları, hava fazlalık katsayısı gibi parametreler verilebilir. Belirtilen tüm bu parametrelerin deneysel olarak incelenebilmesi hem zaman hem ekonomik anlamda çok efektif olmamaktadır. Bu nedenle bu tarz problemlerin çözümünde Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programlarından yararlanılabilir. Özellikle son yıllarda bilgisayar teknolojisinde olan hızlı ilerlemeler HAD programlarını daha cazip hale getirmiştir ve yanma gibi kompleks problemlerin çözümünde oldukça tercih edilir.

Yakıtla oksijenin karıştırılması durumuna göre alev çeşitlerini ön karıştırmalı, kısmen ön karıştırmalı ve sonradan karıştırmalı şeklinde sınıflandırmak mümkündür. Gaz yakıtın durgun hava içine enjekte edilerek gereken yakma havasının emmek suretiyle yakıtın kendisi tarafından temin edilen ve bu nedenle bir fana gerek duymayan yakıcılar atmosferik yakıcılar olarak bilinir. Bir atmosferik gaz yakıcısının şematik gösterimi Şekil 1'de verilmiştir. Enjektörden gelen gaz jeti etrafında negatif basınç oluşturarak ortam havası yakıt jeti etrafında sürüklenir. Yakıt jeti ile birlikte sürüklenen birincil hava karışım tüpüne girer. Daha sonra birincil hava ve gaz karıştırma odasında karışır. Elde edilen karışım, karışım tüpünden çıkar ve ikincil hava ile karşılaşır. İlk kıvılcım verildikten sonra yanma işlemi gerçekleşir. Bu durumda yakıt ve hava yanmadan önce (en azından kısmen) karışmakta ve yanma ortamında tutuşarak yanmaktadır. Bunlar ön karışmalı veya kısmen ön karışımlı alevlerdir [1]. Uygulamada seyrek olsa da ön karıştırmalı alevler basit olmaları açısından önemlidir. Bunsen brülörü en fazla görülen ön karıştırmalı yakıcı tipidir. Bu yakıcıda gaz yakıtla hava önceden karıştırılır ve borunun ağzından yakılır. Bu şekilde birkaç yakıcının bir araya getirilmesi ile bir ocak elde edilebilir.

Yanma işlemi esnasında yeterli miktarda birincil havanın alınması emisyon değerlerinin azalmasını ve yanmanın verimli olmasını sağlamaktadır. Pritchard ve ark. [2] yapmış oldukları çalışmada, birincil hava sürüklenme miktarını hesaplamak amacıyla basitleştirilmiş bir teorik formülasyon önermişlerdir. Jugjai ve ark. [3] ve Hou ve ark. [4] atmosferik brülörlerin ısıl performanslarının iyileştirilmesi üzerine araştırmalar yapmışlardır. Brülörlerde yakıt olarak LPG kullanmışlardır. Termal verimin arttırılmasında alevin akış şeklinin radyal bir akıştan dönen (swirl) bir akışa değiştirilmesinin etkili olabileceğini belirtmişlerdir. Hemidi ve ark. [5] deneysel ve nümerik olarak ejektörlerde hava sürüklenmesini araştırmışlardır. Nümerik sonuçlarında k-ε modelin k-ω-sst modeline göre daha iyi sonuçlar verdiğini tespit etmişlerdir. Singh ve ark. [6] soğuk şartlar altında birincil hava sürüklenme seviyesini sonlu elemanlar modeli kullanarak tahmin etmişlerdir. Birincil hava sürüklenmesinin yakıt yoğunluğunun artmasıyla arttığını belirtmişlerdir. Singh ve ark. [7] soğuk test durumunun birincil hava sürüklenmesini belirlemek için deneysel bir çalışma da gerçekleştirmişlerdir. Brülör çıkışının enjektör deliği çapına oranı arttığında ölçülen birincil hava sürüklenmesinin daha yüksek olduğunu saptamışlardır. Liu ve ark. [8] ön karıştırmalı yanma teorisine dayanan düşük NO_x brülör ejektörü geliştirerek, ejektörün akış ve karıştırma işlemlerine odaklanmışlardır. Ayrıca yeni tasarlanmış brülörün performansını nümerik ve deneysel olarak kıyaslamışlardır. Namkhat ve Jugjai [9] birincil hava sürüklenmesinin, yakıt tipi, yakıt debisi, enjektör geometrisi, karıştırma borusu geometrisi ve brülör deliği geometrisinin bir fonksiyonu olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında deneysel ve teorik yöntemlerden yararlanmışlardır. Birincil hava sürüklenme miktarının, yakıtın artan momentum oranıyla arttığını ifade etmişlerdir. Zhu ve ark. [10] iki

önemli ejektör parametresinin (birincil nozul çıkış konumu ve karıştırma bölümünün yakınsak açısı) karışım performansına etkisini nümerik olarak araştırmışlardır.

Literatürde yapılan çalışmalarda hava-yakıt karışmasında venturi boğaz çapı, boğaz alanı, boğaz konumu, gaz giriş alanı, gaz giriş yeri ve gaz delikleri sayısı gibi parametreler üzerine odaklanılmıştır. Ancak atmosferik brülörlerde enjektör çapının ve enjeksiyon hızının hava-yakıt karışmasına etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar sınırlı sayıdadır. Ayrıca bu parametrelerin hava-yakıt karışmasına etkisinin iki boyutlu eksenel simetrik şartlarda birlikte incelendiği çalışmaya literatürde rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, örnek bir atmosferik brülörde enjektör çapının ve enjeksiyon hızının hava-yakıt karışmasına etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Hesaplamalar iki boyutlu eksenel simetrik şartlarda gerçekleştirilmiştir. Türbülans modeli olarak Standard k-ε modeli kullanılmıştır. Enjektör çapı ve enjeksiyon hızına göre oluşan hız vektörleri, akım çizgileri, hava-yakıt karışım oranları incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metod

Gaz yakıtlar genelde birçok saf bileşenin karışımından oluşmaktadır. Bu bileşenlerin yanması kolayca temel reaksiyonlarla hesaplanabilir. Yanma işleminin analizinde Hava-Yakıt karışım oranı (H/Y) ile tanımlanan bir parametre sıklıkla kullanılır ve yakıt-hava miktarlarını sayısal olarak ifade etme kısmında oldukça önemlidir.

$$H/Y = \frac{Hava\ Miktarı}{Yakıt\ Miktarı}$$

Bir yakıtın tam yanması için gereken hava miktarına stokiyometrik (minimum) hava ihtiyacı (H_{min}) adı verilir. Gaz yakıtların bileşimi hacimsel olarak verilir. Bu durumda, stokiyometrik hava/yakıt oranını da hacimsel olarak belirlemek daha kullanışlı olacaktır. Genellikle uygulamada gerekenden biraz fazla hava ($H_{gerçek}$) verilerek yanmanın tam olası sağlanır:

$$H_{gerçek} = \lambda * H_{min}$$

Bu eşitlikle tanımlanan λ hava fazlalık katsayısıdır. Genel olarak tam yanma için λ >1 seçilir. Ancak atmosferik brülörlerin karışma borusunda λ <1 olur.

Yakma sistemlerinde hava fazlalık miktarı arttıkça (belirli bir seviyeyi aşmamak kaydıyla) karbonmonoksit ve yanmamış hidrokarbonların baca gazındaki oranı azalmaktadır. Ancak yanma verimi hava fazlalık miktarının artması ile belirli bir noktaya kadar artacak daha sonra ise düşecektir. Bu anlamda optimum bir yanma havası miktarının belirlenmesi yararlı olacaktır. Örneğin, bir yakma sistemine beslenen aşırı miktardaki hava yanma sıcaklığını düşürerek yanmanın tamamlanmamasına sebep olabilir. Böylece hem hava kirliliği önlenmiş olur hem de verimli bir yanma sağlanır. Mutfak ocağı, bunsen brülörü gibi yakıcılarda ise yanma işlemi kısmen ön karışmalı olarak gerçekleşir. Daha önce belirtildiği gibi bu tip yakıcılarda karışım borusu içerisinde λ <1 seçilir ve genellikle metan için bu değer yaklaşık olarak 0.5 civarındadır. Daha sonra çevreden emilen ikincil taze hava ile birlikte λ değeri artar ve yanma işlemi tamamlanır.

Son yıllarda mühendislik problemlerinin çözümünde nümerik yöntemler oldukça sık kullanılmaya başlanmıştır. Akış problemlerin çözümünde, analitik, deneysel ve nümerik yöntemler ayrı ayrı kullanılabildiği gibi, birlikte de kullanılabilirler. Bu çalışmada nümerik yöntemleri kullanan bir hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı olan Fluent paket programı kullanılmıştır [11] ve programda kullanılan modellerin detayları hakkında bilgiler verilmiştir.

Genel korunum denklemi en temel haliyle şu şekilde ifade edilebilir:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\,\Phi) + div(\rho v\,\Phi - \Gamma_\Phi grad\,\Phi) = S_\Phi \quad (1)$$

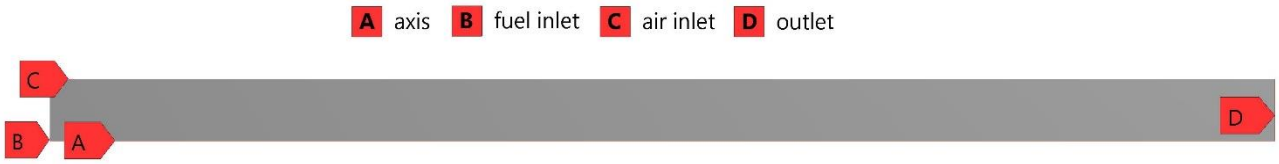
Bu denklemde Φ bağımlı değişkeni, Γ_Φ Φ değişkeninin taşınım katsayısını ve S_Φ Φ değişkeninin kaynak terimini ifade etmektedir. Φ, Γ_Φ and S_Φ ifadelerinin anlamı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Φ, Γ_Φ and S_Φ ifadelerinin açıklamalı gösterimi

Eşitlik	ϕ	Γ_ϕ	S_ϕ
Süreklilik	1	0	0
Momentum	υ	μ_e	$-\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left(\mu_e \frac{\partial v_j}{\partial x_i}\right) + \frac{\partial p}{\partial x_j}\left(\mu_e \frac{\partial v_i}{\partial x_j}\right) + \rho g_i$
Türbülans kinetik enerji	k	$\frac{\mu_e}{\sigma_k}$	$G_k - \rho_\varepsilon$
Türbülans kinetik enerjinin yayılması	ε	$\frac{\mu_e}{\sigma_\varepsilon}$	$\frac{\varepsilon}{k}(C_1 G_k - C_2 \rho_\varepsilon)$
Türlerin kütlesel korunumu	Y_k	$\frac{\mu_e}{\sigma_h}$	

Çalışma kapsamında enjektör çapının ve enjeksiyon hızının hava-yakıt karışmasına etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Bu kapsamda enjektör çapları 0.5 mm, 0.75 mm ve 1 mm olmak üzere üç ayrı çap değerinde seçilmiştir. Ayrıca her çap değeri için 50 m/s, 70 m/s ve 90 m/s olmak üzere üç ayrı hız değeri ile hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Türbülanslı akışı simüle etmek amacıyla türbülans modeli olarak Standard k-ε modeli kullanılmıştır. Basınç-hız çiftinin çözümünde SIMPLE algoritması kullanılmıştır. Çözümlerde basınç denklemlerinin dışındaki denklemlerin ayrıklaştırılması için birinci dereceden Upwind Şema kullanılmıştır.

Hesaplamalarda çıkış bölgesi basınç çıkışı (pressure outlet), yakıt girişi hız girişi (velocity inlet), hava girişi ise basınç girişi (pressure inlet) olarak alınmıştır. Şekil 2'de brülör geometrisi ve sınır adlandırmaları verilmiştir. Hesaplamalar iki boyutlu eksenel simetrik olarak yapıldığından geometrinin sadece bir yarısı gösterilmiş ve hesaplanmıştır. Yakıt olarak metan girilmiştir. Duvarlarda yapışma şartı (hız sıfır) kabul edilmiştir. Çözümlemelerin tümünde süreklilik ve diğer yakınsama kriterleri, 10^{-6} mertebesine yakınsayana kadar iterasyonlar sürdürülmüştür.



Şekil 1. Brülör geometrisi ve sınır adlandırmaları

Hesaplamaların yapılabilmesi için geometrinin bir ağ ile örülmesi gerekmektedir. Fiziksel büyüklüklerin hızla değiştiği bölgeler (enjektör çevresi) daha sık ağ yapısı ile donatılmıştır. Ağ ile örülmüş brülör geometrisinin görünümü Şekil 2'de verilmiştir.

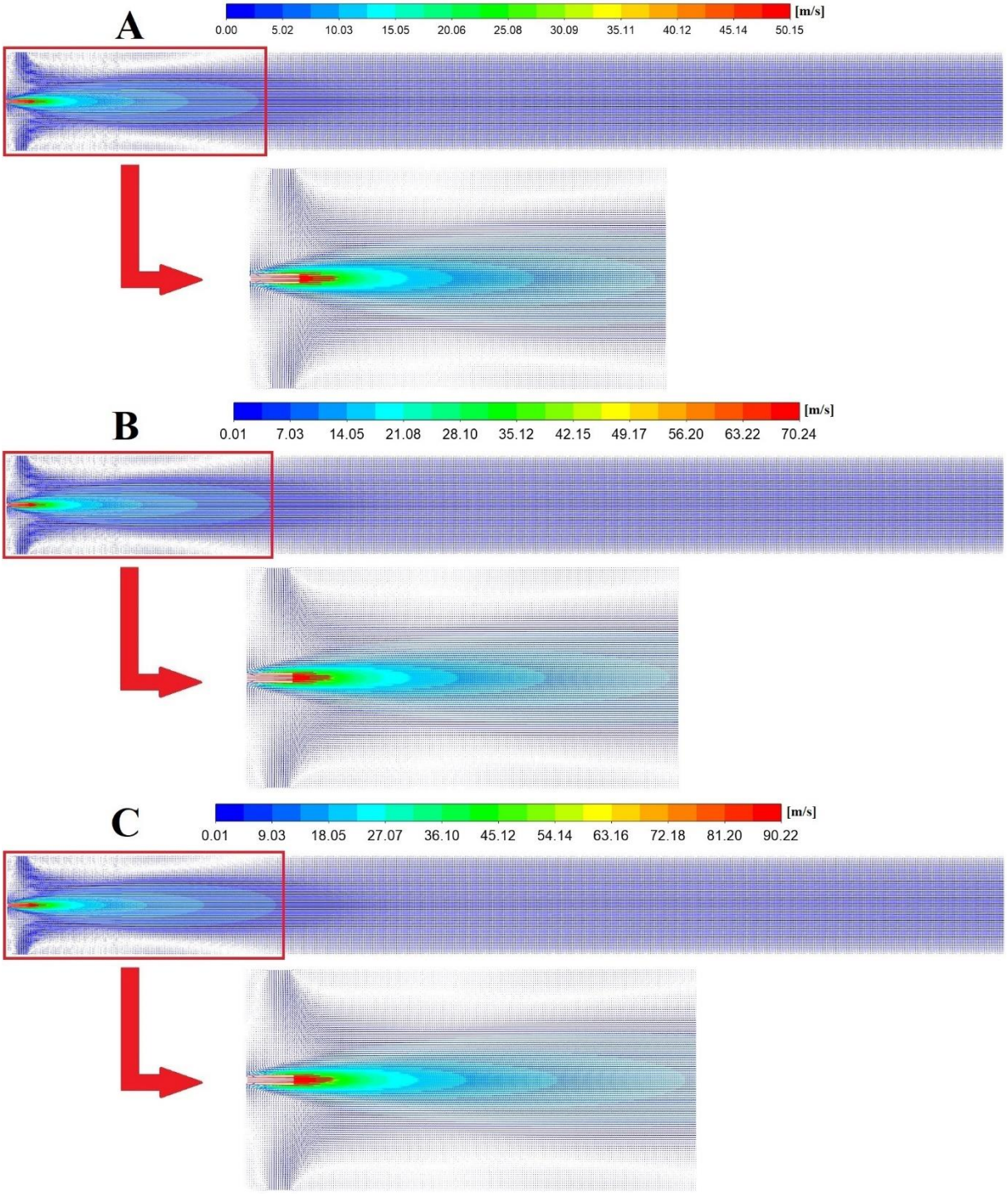


Şekil 2. Ağ görünümü

3. Bulgular ve Tartışma

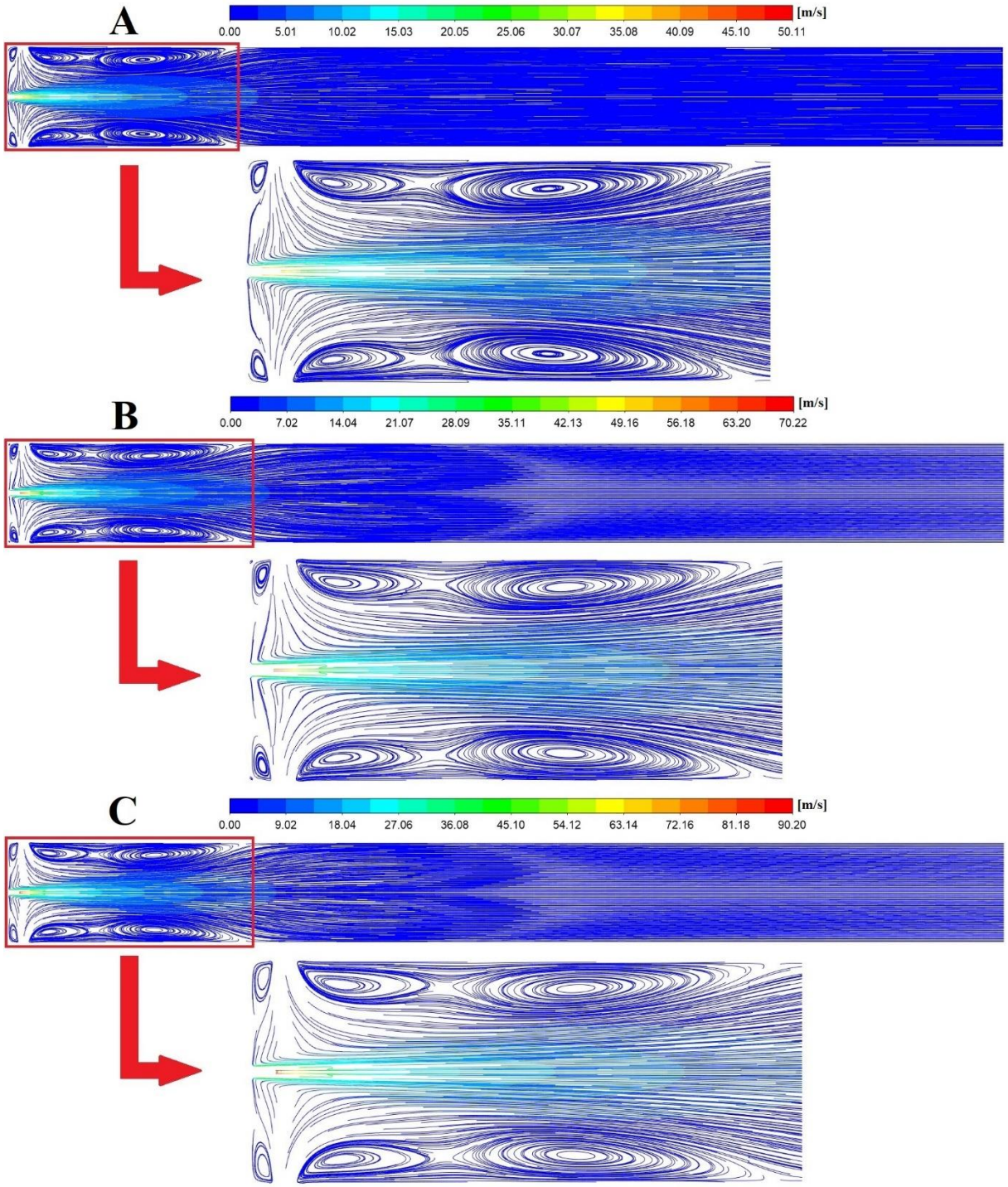
Bu bölümde enjektör çapının 0.5 mm olması durumunda farklı yakıt giriş hızlarına bağlı olarak elde edilen hız vektörleri, akım çizgileri, basınç dağılımları, CH_4 mol konsantrasyonları ve efektif viskozite dağılımları gösterilmiştir. Hesaplanan diğer enjektör çap değerlerinde (0.75 ve 1 mm) anılan parametreler için benzer görüntüler elde edildiğinden bunlar ayrıca verilmemiştir.

Enjektör çapının 0.5 mm olması durumunda farklı yakıt giriş hızlarına bağlı olarak elde edilen hız vektörleri Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde yakıt giriş hızlarının artmasıyla birlikte yakıt tarafından sürüklenen hava hızlarının da arttığı görülmektedir.



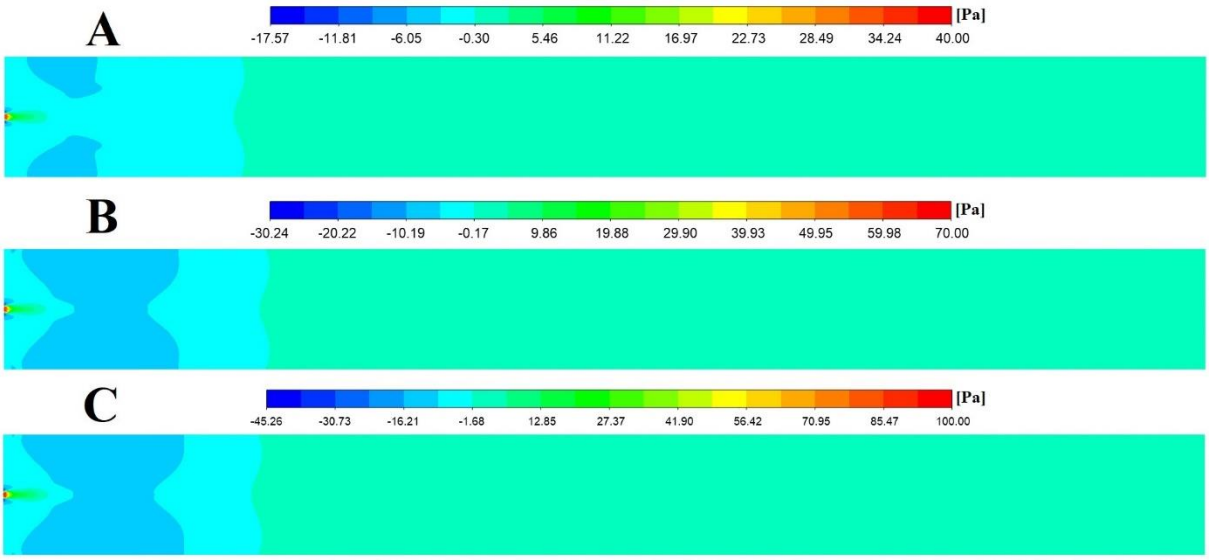
Şekil 3. Enjektör çapının 0.5 mm olması durumunda farklı yakıt giriş hızlarına bağlı olarak elde edilen hız vektörleri. A:50 m/s, B:70 m/s, C:90 m/s.

Şekil 4'te enjektör çapının 0.5 mm olması durumunda farklı yakıt giriş hızlarına bağlı olarak elde edilen akım çizgilerinin konturları verilmiştir. Hava giriş ile yakıt-hava karışımının boru duvarına ulaştığı kesit arasında bir çift girdabın oluştuğu görülmektedir. Yakıt giriş hızlarının artmasıyla birlikte girdap dönüş hızları da artmakta, ancak girdap boyutları fazla değişmemektedir.



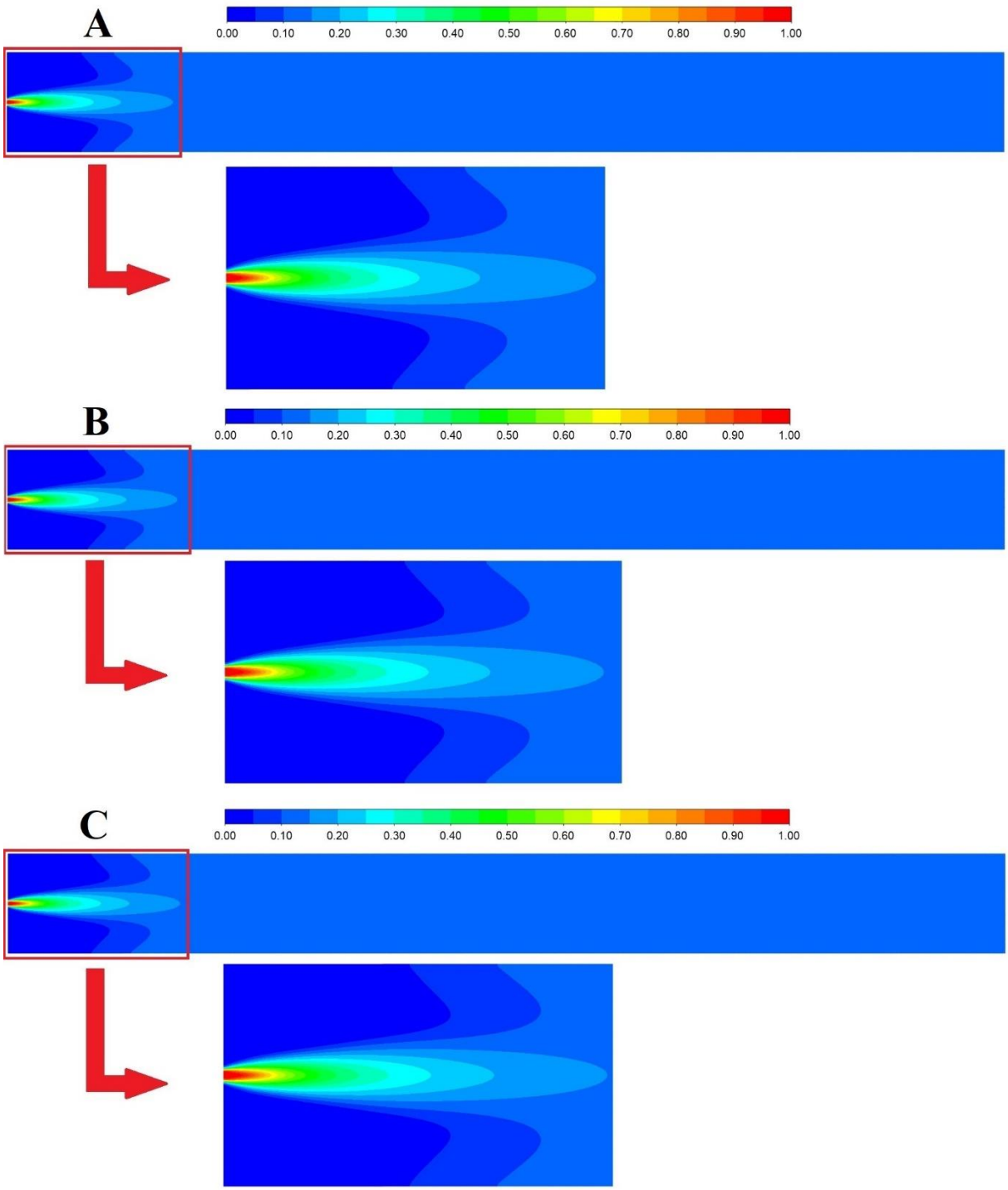
Şekil 4. Enjektör çapının 0.5 mm olması durumunda farklı yakıt giriş hızlarına bağlı olarak elde edilen hız akım çizgileri. A:50 m/s, B:70 m/s, C:90 m/s.

Şekil 5'te enjektör çapının 0.5 mm olması durumunda farklı yakıt giriş hızlarına bağlı olarak elde edilen basınç konturları verilmiştir. Yakıt enjeksiyonunun etkisi ile hava giriş bölgesi civarında negatif (atmosfer basıncı altında) basınçlar oluşmakta, bu durum hava emilimini sağlamaktadır. Ayrıca, artan enjeksiyon hızıyla birlikte negatif basınç değerlerinin de büyüdüğü görülmektedir.



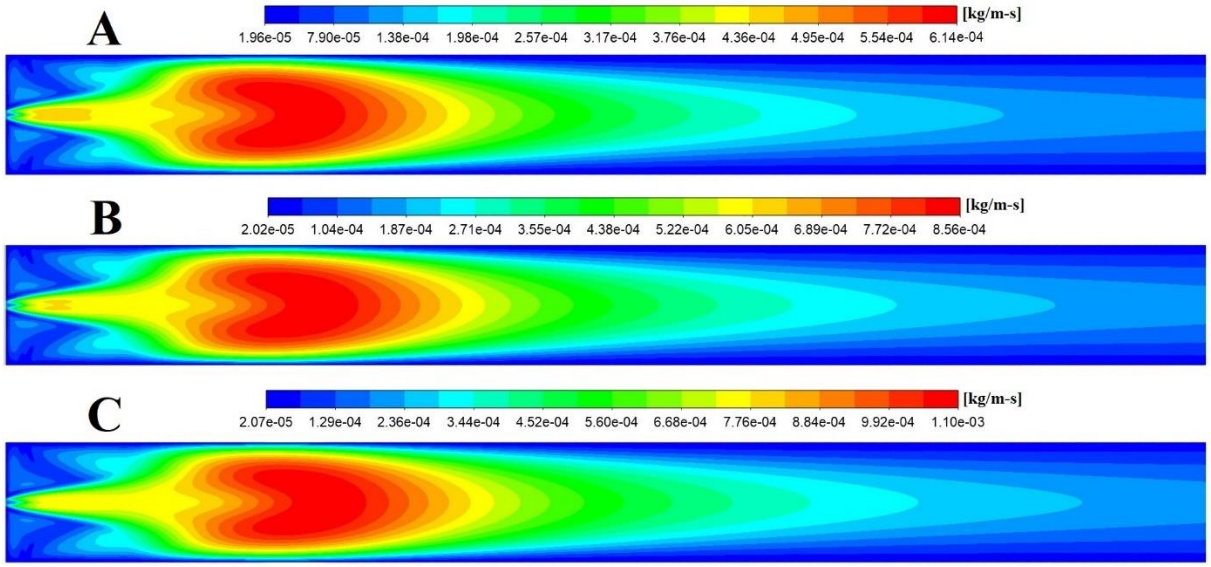
Şekil 5. Enjektör çapının 0.5 mm olması durumunda farklı yakıt giriş hızlarına bağlı olarak elde edilen basınç konturları. A:50 m/s, B:70 m/s, C:90 m/s.

Şekil 6'da enjektör çapının 0.5 mm olması durumunda farklı yakıt giriş hızlarına bağlı olarak elde edilen CH_4 mol konsantrasyonlarının konturları verilmiştir. Görüldüğü gibi oluşan girdaplı akımlar sonucu yakıt ve hava hızla karışmakta ve homojen bir karışım ortaya çıkmaktadır. Artan yakıt hızıyla birlikte havanın sürüklenme hızının da artmasının etkisiyle birlikte artan türbülans nedeniyle karışma hızının da arttığı, böylece karışma mesafesinin toplamda fazla değişmediği söylenebilir.



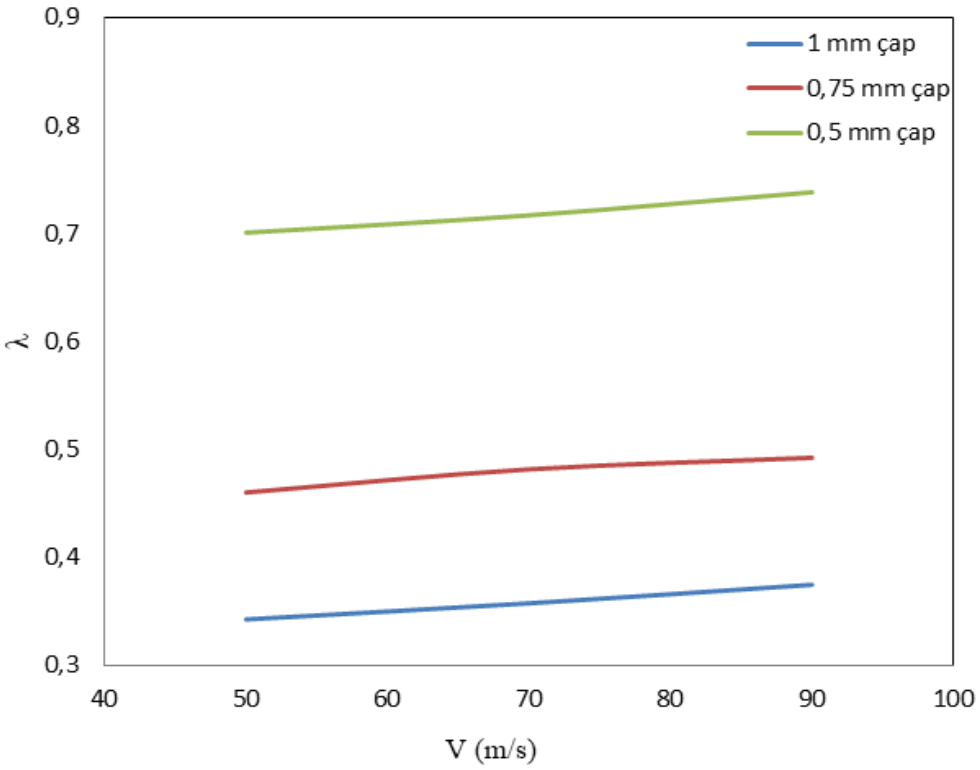
Şekil 6. Enjektör çapının 0.5 mm olması durumunda farklı yakıt giriş hızlarına bağlı olarak elde edilen CH_4 mol konsantrasyonları. A:50 m/s, B:70 m/s, C:90 m/s.

Şekil 7'de aynı durum için elde edilen efektif viskozite dağılımı verilmiştir. Görüldüğü gibi hız farklarının yüksek olduğu karışma bölgesinde efektif viskozite değerleri de yüksek olmaktadır. Bu husus karışmanın hızla gerçekleşmesine katkıda bulunmaktadır.



Şekil 7. Enjektör çapının 0.5 mm olması durumunda farklı yakıt giriş hızlarına bağlı olarak elde edilen efektif viskozite konturları. A:50 m/s, B:70 m/s, C:90 m/s.

Farklı enjektör çapı ve farklı yakıt giriş hızları sonucunda elde edilen λ değerleri Şekil 8'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde tüm durumlarda artan yakıt hızı ile birlikte λ değerlerinin arttığı görülmektedir. Ancak yakıt hızının artışıyla gerçekleşen λ değerlerinin artışı fazla değildir. Diğer taraftan enjektör çapının büyümesi ile λ değerleri azalmıştır. Aslında bu durumda emilen hava miktarı mutlak olarak artmaktadır. Buna göre emilen hava debisi birim yakıt debisine oranla azalmıştır.



Şekil 8. Yakıt giriş hızı- λ grafiği

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, örnek bir atmosferik brülörde farklı enjektör çaplarının (0.5 mm, 0.75 mm ve 1 mm) ve enjeksiyon hızlarının (50 m/s, 70 m/s ve 90 m/s) hava-yakıt karışmasına etkisi nümerik olarak incelenmiştir. Hesaplamalar iki boyutlu eksenel simetrik şartlarda gerçekleştirilmiştir. Türbülansın modellenmesinde Standart k-ε modeli kullanılmıştır. Enjektör çapı ve enjeksiyon hızına göre oluşan hız vektörleri, akım çizgileri, hava-yakıt karışım oranları incelenerek sonuçlar değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde:

- Enjeksiyon hızının artması sürüklenen hava hızını arttırıcı yönde etki göstermiştir.
- Hava girişi ile yakıt-hava karışımının boru duvarına ulaşma noktası arasında bir çift girdap oluşmakta, artan yakıt enjeksiyon hızıyla girdap dönüş hızları da artmakta, ancak girdap boyutları fazla değişmemektedir.
- Artan yakıt hızıyla birlikte artan türbülans nedeniyle karışma hızı da artmakta, böylece karışma mesafesi toplamda fazla değişmemektedir.
- Yakıt hızının artmasıyla birlikte sürüklenen hava miktarı artmıştır. Ancak λ değerleri ve buna bağlı olarak sürüklenen hava miktarı yakıta oranla fazla artmamıştır.
- Enjeksiyon çapının artmasıyla birlikte sürüklenen hava miktarı artmıştır, ancak λ değerleri küçüldüğünden sürüklenen hava miktarı yakıta oranla azalmıştır.

İlerleyen dönemdeki çalışmalarda hava giriş deliklerinin sayısı, pozisyonu gibi durumların üç boyutlu olarak incelenmesi ve karışımdan sonra oluşacak yanmanın modellenmesi gibi konular incelenebilir.

Kaynaklar

Fluent User's Guide, Fluent 18 version, Fluent Incorporated, 2017.

Hemidi, A., Henry, F., Leclaire, S., Seynhaeve, J.-M., & Bartosiewicz, Y. (2009). CFD analysis of a supersonic air ejector. Part I: Experimental validation of single-phase and two-phase operation. *Applied Thermal Engineering*, *29*(8), 1523–1531. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.07.003

Hou, S.-S., Lee, C.-Y., & Lin, T.-H. (2007). Efficiency and emissions of a new domestic gas burner with a swirling flame. *Energy Conversion and Management*, *48*(5), 1401–1410. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.12.001

Jugjai, S., Tia, S., & Trewetasksorn, W. (2001). Thermal efficiency improvement of an LPG gas cooker by a swirling central flame. *International Journal of Energy Research*, *25*(8), 657–674. https://doi.org/10.1002/er.708

Liu, F.-G., You, X.-Y., Wang, Q., & Zhang, R. (2013). On optimal design and experimental validation of household appliance burner of low pollutant emission. *Energy Conversion and Management*, *76*, 837–845. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.021

Namkhat, A., & Jugjai, S. (2010). Primary air entrainment characteristics for a self-aspirating burner: Model and experiments. *Energy*, *35*(4), 1701–1708. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.energy.2009.12.020

Pritchard, R., Guy, J. J., & Connor, N. (1977). *Handbook of industrial gas utilization: Engineering principles and practice*.

Singh, G., Sharma, L. D., Ahmad, A. H., & Singh, S. P. (1999). Fenvalerate Induced Dermal Toxicity in Buffalo Calves. *Journal of Applied Animal Research*, *16*(2), 205–210. https://doi.org/10.1080/09712119.1999.9706283

Singh, G., Sundararajan, T., & Bhaskaran, K. A. (2003). Mixing and Entrainment Characteristics of Circular and Noncircular Confined Jets. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, *125*(5), 835–842. https://doi.org/10.1115/1.1595676

Topaloğlu, B., Özcan, H. ve Sungur, B. Yakma Sistemleri (1.basım), Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 2020.

Zhu, Y., Cai, W., Wen, C., & Li, Y. (2009). Numerical investigation of geometry parameters for design of high performance ejectors. *Applied Thermal Engineering*, *29*(5), 898–905. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.04.025

Farklı Isıl İşlem Uygulanmış Ti6Al4 Alaşımının İşlenebilirlik Davranışlarının İncelenmesi

Elif MALYER*[1,a], Fikret SÖNMEZ[2,b], Ozan ÇAYDAŞ[3]
[1]Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Turgutlu MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 45400, Turgutlu, Manisa
[2] Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Hasan Ferdi Turgutlu Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 45400, Turgutlu, Manisa
[3]Alışan Lojistik, 34752, İstanbul

Öz

Titanyum alaşımlarından Ti6Al4V alaşımları, yüksek dayanım/yoğunluk, iyi korozyon dayanımı gibi dikkat çekici özelliklere sahiptir. Dahası bu özelliklerini yüksek sıcaklıklarda korurlar. Bu nedenle birçok sektörde kullanım alanı bulurlar. Ti6Al4 alaşımlarının biçimlendirilmesinde genellikle talaşlı imalat yöntemlerinden yararlanılır fakat bu malzemelerin talaşlı imalatında birçok problemle karşılaşılmaktadır. Bu nedenle işlenebilirliği zor malzemeler grubunda yer almaktadır. Ti6Al4 alaşımına artan ilgi bu malzemelerin daha verimli işlenebilmesi için optimum şartların tespit edilmesini gerekli kılmaktadır. Birçok talaşlı imalat parametresinin yanında Ti6Al4V malzemelerin ısıl işlem durumu ve malzemenin içyapısı da talaşlı imalatı etkilemektedir. Bu çalışmada, iki farklı ısıl işlem (tavlama ve yaşlandırma) kullanılarak farklı β-fazı oranlarına sahip numuneler elde edilmiştir. Alaşımın içyapısındaki farklı β-fazı oranlarının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri araştırılmıştır. Ayrıca bu etkilerin artan ilerleme hızlarında nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu amaçla yapılan ısıl işlemler sonucunda yaşlandırma işlemi ile %24,59 tavlama işlemi ile %37,91 β- fazlı içyapı elde edilmiştir. Ardından Ti6Al4V alaşımı malzeme üzerinde üç farklı ilerleme miktarı (366 mm/dak, 732 mm/dak, 1098 mm/dak) kullanılarak cep frezeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu değer yaklaşık %37,91 olarak tespit edilmiştir. β- fazının artması ile sertlik değerinde yaklaşık 23,2 Hv'lik bir artış elde edilmiştir. Tavlanmış numunelerde daha iyi yüzey pürüzlülüğü değerleri tespit edilmiştir. Yaşlandırılmış numunelerde ise yüksek ilerleme miktarlarında takım kırılırken tavlanmış numuneler takım kırılmadan işlenebilmiştir.

Anahtar kelimeler: Isıl İşlem, İlerleme Miktarı, Ti6Al4V, Takım Ömrü, Yüzey Kalitesi

1. Giriş

Ti6Al4V alaşımlarının genel işlenebilirliği zayıftır fakat iyi akma mukavemeti/yoğunluk oranı, yüksek ısı ve korozyon dayanımı özellikleri nedeniyle uçak ve uzay, biyomedikal, kimya, denizcilik ve gıda endüstrisinde geniş kullanım alanı bulmaktadırlar (Jovanović vd., 2006; Chui vd., 2011). Diğer malzemelerde de olduğu gibi bu malzemenin mekanik özellikleri de üretim yöntemi, kimyasal kompozisyonu ve malzemeye uygulanan ısıl işlem ya da işlemlere bağlı olarak değişir (Ding vd., 2002).

Allotropik bir malzeme olan titanyum oda sıcaklığından 882±2°C sıcaklığa kadar, Hegzagonal Sıkı Paket (HSP) kristal yapıdaki α fazı belirtilen sıcaklığın üzerinde Hacim Merkezli Kübik (HMK) kristal yapıdaki β fazına dönüşmektedir (Ezugwu ve Wang, 1997; İşler, 1999; Leyens ve Peters, 2003; Liu vd., 2004). HSP kristal kafes yapısında, HMK kristal kafes yapısında göre daha kolay plastik deformasyon meydana gelir. Bunun nedenleri; HSP kristal kafes yapısının kayma düzlemindeki atom doluluk oranı yaklaşık %91 iken, bu değerin HMK yapıda yaklaşık %83 olması ve plastik deformasyon için gerekli enerjinin, minimum kayma boyu ile direkt bağlantılı olmasıdır (Leyens ve Peters, 2003; Yılmazer, 2008).

Ti6Al4V alaşımlarına istenen mekanik özelliklere bağlı olarak çeşitli ısıl işlemler uygulanmaktadır. İmalat sırasındaki artık gerilmeleri azaltmak amacıyla gerilim giderme tavlaması yapılır. Ayrıca, alaşıma oda sıcaklığında yüksek süneklik, yüksek sıcaklıklarda yapısal ve boyutsal kararlılık, kırılma tokluğu ve

işlenebilirlik özelliklerinin kazandırılması amacıyla tavlama ve dayanım artışı için çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemleri uygulanabilir (İşler, 1999; Gilbert ve Shannon, 2004; Akyol, 2007).

Literatürde, işlenebilirliği zor olan Ti6Al4V alaşımının mekanik özelliklerinin farklı ısıl işlemler uygulanarak değiştirildiği farklı çalışmalara rastlamak mümkündür. Ancak Ti alaşımlarının işlenebilirliğinin iyileştirilmesi amacıyla ısıl işlemler yardımıyla alaşımın içyapı ve mekanik özelliklerinin değiştirilmesi ile ilgili az sayıda çalışma tespit edilmiştir. Akyol çalışmasında, Ti6Al4V alaşımının işlenebilirliğinin farklı ısıl işlemler kullanılarak arttırılmasını hedeflenmiştir. Bu amaçla malzemeleri tavlama, su verme ve yaşlandırma olmak üzere üç farklı ısıl isleme tabi tutmuş ve üç farklı içyapı elde etmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde kuru tornalama yöntemini kullanmış ve kesme kuvvetleri, talaş formu, takım ömrü ve yüzey kalitesini izleyerek sonuçları karşılaştırmıştır. Sonuçta de ettiği numunelerin içyapıları birbirinden tamamen farklı olsa da işlenebilirlik davranışlarının birbirine çok yakın olduğunun tespit etmiştir (Akyol, 2007). Buradan hareketle Ahmedi ve arkadaşları, farklı ısıl işlemler ile farklı α ve β-fazı oranı ve tane boyutlarına sahip numunelere mikro-frezeleme deneyleri uygulamışlar ve bu farklı içyapıların talaş kaldırma işlemleri süresince yığma kenar oluşumu, kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi gibi işlem çıktılarına etkilerini incelemişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, β fazının oranının ve tane boyutunun azalması ile kesme kuvvetlerinin arttığını ve küçük tane boyutunun yığma kenar oluşumunu arttırdığını belirtmişlerdir (Ahmedi vd., 2018).

Ti6Al4V alaşımları işlenebilirliği zor alaşımlar olsalar da üstün mekanik özellikleri nedeniyle her gün kullanımı artan malzemelerdir. Literatürde bu alaşımların talaşlı imalatının daha verimli kılınabilmesi amacıyla optimum işlem parametrelerinin belirlenmesini hedefleyen birçok çalışma vardır. Fakat ısıl işlemler yardımıyla alaşımın içyapısında yapılacak küçük bir değişiklik ile işlenebilirliği iyileştirilmesi alanında kısmen daha az çalışma bulunmaktadır. Literatürde bulunan bu az sayıdaki çalışmanın sonuçları kısmen birbiri ile çelişir özelliktedir. Bu çalışmada Ti6Al4V alaşımı içerisindeki β-fazı oranının, alaşımın işlenebilirliğine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla numunelere tavlama ve yaşlandırma ısıl işlemleri uygulanmış, iki farklı β-fazı oranına sahip numuneler elde edilmiştir. İşlenebilirlik deneylerinde cep frezeleme yöntemi tercih edilmiştir. Deneylerde üç farklı ilerleme miktarı kullanılmış ve içyapı ve ilerleme miktarının takım ömrü ve yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

İşlenebilirlik deneylerinde iş parçası malzemesi olarak Ti6Al4V kullanılmıştır. Malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Ø42x24 mm ebatlarında hazırlanan numunelere Protherm PLF 120/7 Kamara fırınında, alaşımın faz oranlarının işlenebilirliğe etkilerinin incelenebilmesi amacıyla tavlama ve yaşlandırma olmak üzere iki farklı ısıl işlem uygulanmıştır. Isıl işlemlere ait prosedür Şekil 1'de verilmişidir.

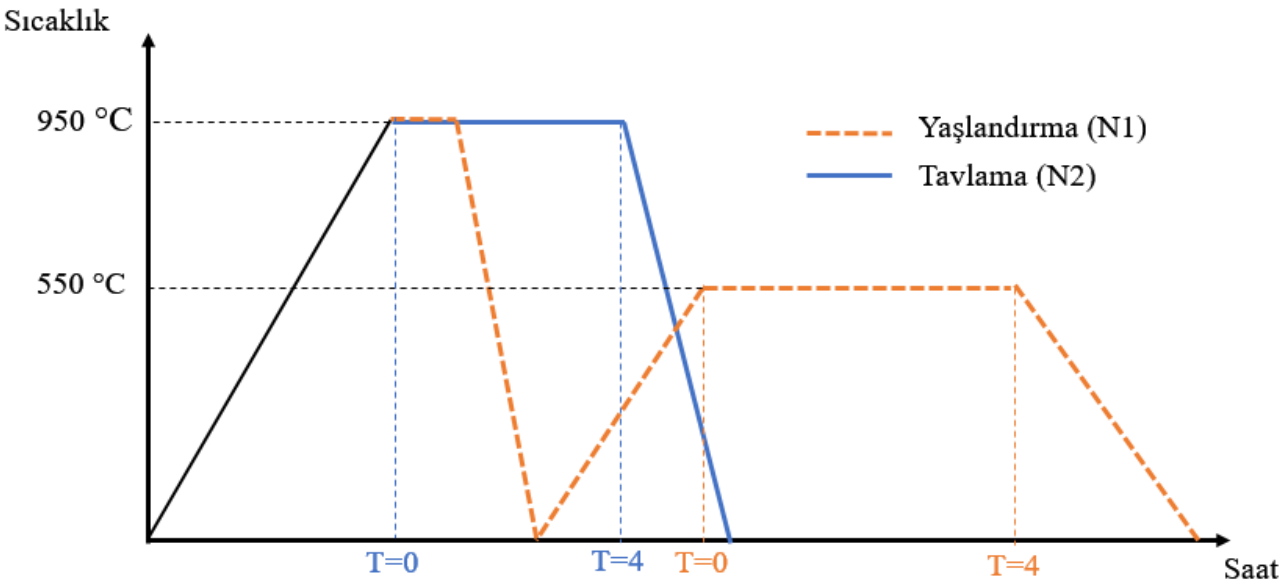
Tablo 1. Ti6Al4V malzemesinin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri

Kimyasal bileşim (%)								***Mekanik Özellikler***			
Ti	*Al*	*V*	*N*	*C*	*H*	*Fe*	*O*	*Özkütle (g/cm3)*	*Çekme Direnci (MPa)*	*Akma Direnci (MPa)*	*Sertlik (HRC)*
kalan	*6.42*	*4.2*	*0.006*	*0.022*	*0.003*	*0.19*	*0.182*	*4.43*	*989-982*	*895-887*	*33*

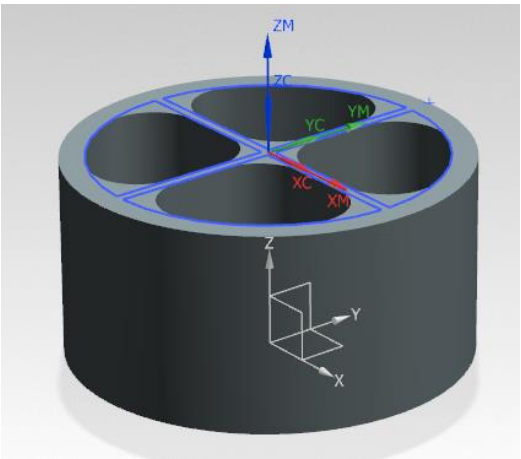
İşlenebilirlik deneylerinde cep frezeleme yöntemi tercih edilmiştir. Bu amaçla Ø4 mm çaplı AlTiCrN kaplamalı yekpare karbür parmak freze kullanılmıştır. 4 kesme ağzına sahip bu takımın toplam boyu 50 mm ve kesme kenar boyu ise 10 mm'dir. Takım içyapısı mikro taneli ve 52 HRC sertiğe sahiptir.

Isıl işlem uygulanan malzemelerin üzerinden temizlik talaşı alınarak Ø40x20 mm ölçüsüne işlenmiştir. Daha sonra numuneler, Şekil 2'de görülen geometrinin elde edilmesi için kesme hızı 48 m/dak, iş mili

devri 4000 dev/dak ve talaş derinliği 0.6 mm olarak sabit tutularak işlenmiştir. Tablo 2'de diğer deney değişkenleri verilmiştir. Kesici takımlarda meydana gelen aşınmalar Dino Lite AM 7915MZTL dijital mikroskop ve Dino Capture 2.0 yazılımı kullanılarak incelenmiştir. Deneyleri sonrası iş parçasının ortalama yüzey pürüzlülük (Ra) değerleri Mitutoyo SJ-301 yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülmüştür. Bu ölçümler toplam 4 mm bir ölçüm uzunluğunda 3 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Isıl işlem prosedürü.



Şekil 2. Frezeleme deneylerinde işlenen geometri.

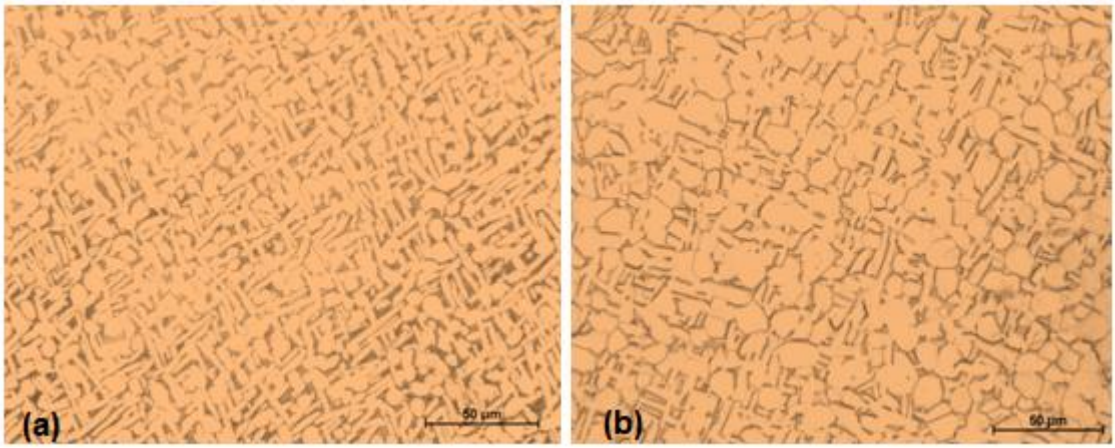
Tablo 2. Deney parametreleri

Numune Adı	***Isıl işlem tipi***	***F (mm/dk)***
Y-366	*Yaşlandırılmış*	*366*
T-366	*Tavlanmış*	
Y-732	*Yaşlandırılmış*	*732*
T-732	*Tavlanmış*	
Y-1098	*Yaşlandırılmış*	*1098*
T-1098	*Tavlanmış*	

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Isıl İşlem sonuçları

Her iki numune gurubundan birer örnek alınarak faz analizleri, tane boyutu ve sertlik ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.a'da tavlanmış numuneye, Şekil 3.b'de ise yaşlandırılmış numuneye ait içyapı fotoğrafları verilmiştir. Faz analizi sonuçları Tablo 3.'te, sertlik ölçüm sonuçları ise Şekil 4'de sunulmuştur.

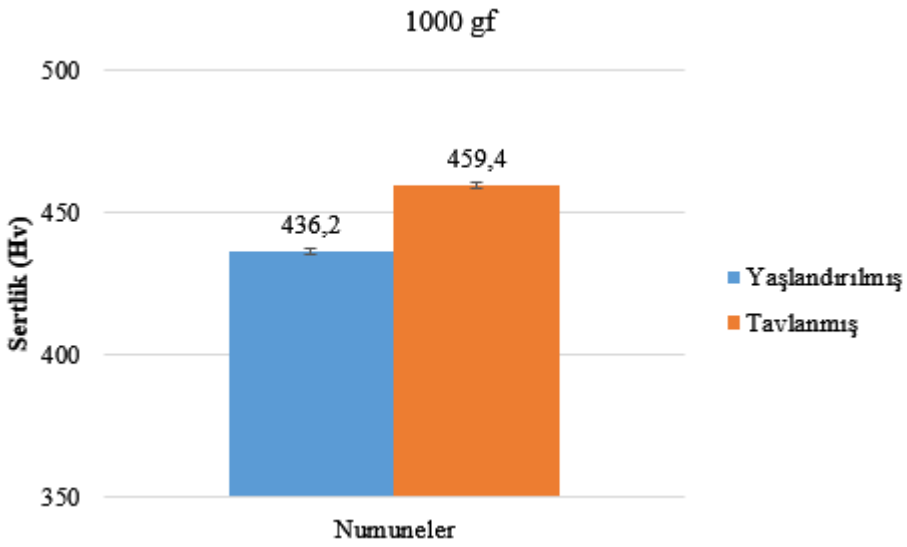


Şekil 3. Numunelerin içyapı fotoğrafları.

Faz analizi ve sertlik ölçüm sonuçları, numunelere uygulanan ısıl işlemler sonucunda, malzemenin içyapısında β-fazı arttırılabildiğini göstermektedir. Tavlanmış numunelerin içyapısında yaklaşık %13'lük β-fazı artışı numunelerin sertlik değerini yaklaşık 23,2 Hv artmıştır. α-fazı HSP, β-fazı HMK kristal kafes yapısına sahiptir. Bu nedenle β-fazı daha sert olmasına karşın atomları arasındaki mesafenin α-fazına kıyasla daha büyük olması nedeniyle işlenebilirliği iyileştirdiği bilinmektedir (Ahmadi vd., 2018). Ayrıca HSP yapıda kayma sistemi sayısının HMK yapıya kıyasla daha az olması kayma ile plastik deformasyonun daha zor olmasına neden oluyor ve bünyede β-fazı artışı işlenebilirliği iyileştirdiği bilinmektedir

Tablo 3. Faz analizi sonuçları.

Numune No	***α-fazı oranı (%)***	***β-fazı oranı (%)***
Yaşlandırılmış	*75,41*	*24,59*
Tavlanmış	*62,09*	*37,91*

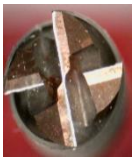
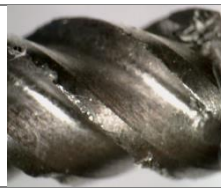


Şekil 4. Numunelerin Vickers mikrosertlik değerleri.

3.2. Takım aşınması

Ti6Al4V malzemenin işlenebilirliği cep frezeleme yöntemi ile araştırılmıştır. Derinliği 8 mm olan 4 adet cep her seferinde yeni bir kesici takım kullanılarak işlenmiştir. Kullanılan toplam 6 adet takımın mikroskop altında incelendiği aşınma görüntüleri Tablo 4'te verilmiştir. Tablo 4 incelendiğinde sertlik değeri düşük ve α-fazı oranı yüksek olan yaşlandırılmış numunelerin frezelenmesinde ilerleme miktarı arttırıldıkça işlemlerin gerçekleştirilemediği ve kesici takımların hasarlandığı görülmektedir. Tavlanmış numunelerde ise yüksek ilerleme miktarı kullanılarak gerçekleştirilen frezeleme işlemlerinde daha karalı kesme şartları elde edilmiştir. Çok belirgin olmasa da takım aşınması analizleri tavlama işlemi gerçekleştirilen numunelerin işlenebilirliğinin, yaşlandırılmış numunelere kıyasla iyileştiğini göstermektedir.

Tablo 4. Takım aşınma görüntüleri

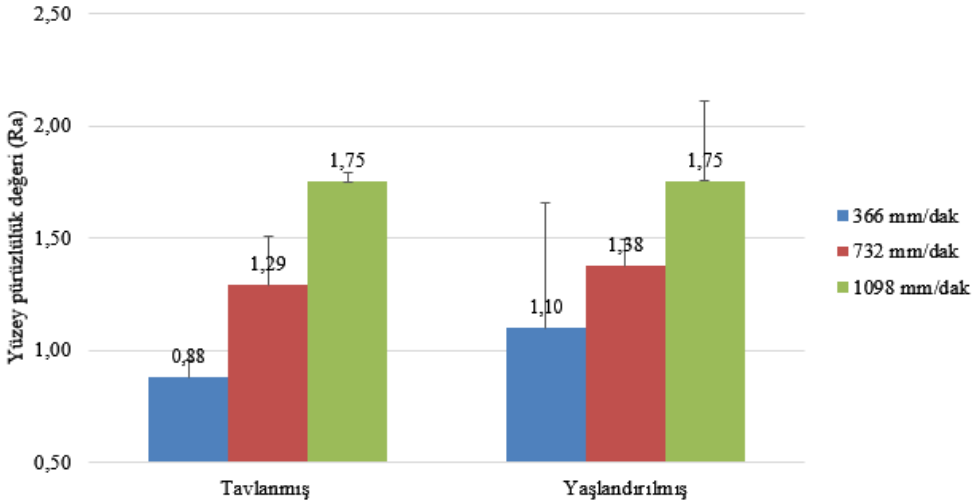
Numune kodu	***Alın***	***Çevre***	***Numune kodu***	***Alın***	***Çevre***
Y366			*T732*		
T366			*Y1098*		
Y732			*T1098*		

Takım aşınmaları incelendiğinde tüm işlem şartlarında en yaygın görülen aşınma mekanizması difüzyon aşınma mekanizmasıdır. Difüzyon aşınmasının nedeni işlem sırasında meydana gelen yüksek kesme sıcaklıklarıdır. Titanyum alaşımlarının ısıl iletkenliklerinin düşük olması kesme bölgesinden

oluşan ısının atılamamasına neden olduğu bilinmektedir. Yüksek sıcaklıklarda kesici takım ile iş parçası malzemesi kimyasal etkileşime girerek kesici uç üzerinde krater oluşumuna neden olmaktadır. Ayrıca takım/iş parçası ara yüzünde sürtünmeden dolayı serbest yüzey aşınması gözlemlenmiştir. Diğer yandan takım üzerinde yığın talaş oluşumu tespit edilmiştir. Tüm aşınma tipleri de literatür ile benzerlik göstermektedir (Zhang vd., 2010; Çalışkan ve Küçükköse, 2015; Zhu vd., 2016). Ayrıca ilerleme miktarı arttıkça aşınma miktarının arttığı gözlemlenmiştir.

3.3. Yüzey pürüzlülüğü incelemesi

Deneyler sonrası Ti6Al4V malzemenin en son işlenen cep kısmından (4.cep) ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra) değerleri ölçülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. İşlenen cep tabanlarından ölçülen ortalama yüzey pürüzlülük değerleri

Yüzey pürüzlülük değerlerinin, elastikiyet modülü, akma dayanımı ve sertlik gibi temel malzeme özelliklerinden etkilendiği, malzemenin sertliği arttıkça yüzey pürüzlülük değerinin azaldığı literatürde bildirilmiştir (Jing vd., 2017). Ayrıca talaşlı imalat işlemlerinde artan ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğünü arttırdığı da bilinmektedir (Dilipak ve Gezgin 2010). Yapılan deneylerde de (Şekil 5) artan ilerleme hızı yüzey pürüzlülüğünü ciddi şekilde arttırmıştır. Tavlanmış ve yaşlandırılmış malzemeler için 366 mm/dak ilerleme hızı ile yapılan deneylerde birbirine oldukça yakın sonuçlar alınmış olsa da tavlanmış numunelerde daha iyi yüzey pürüzlülük değeri elde edilmiştir. Ayrıca tavlanmış numunelerde elde edilen yüzey pürüzlülük değerlerinin standart sapması yaşlandırılmış numunelere kıyasla oldukça azdır. Bu durum tavlanmış numunelerde çok daha kararlı bir talaşlı imalat operasyonu yapıldığını göstermektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Ti6Al4V alaşımı malzemenin iki farklı ısıl işlem durumu ve üç farklı ilerle hızında cep frezelenmesi gerçekleştirilmiştir. Toplam 6 deneyden oluşan bu deney seti üç tekrarlı olarak tamamlanmıştır. İşlenebilirlik deneyleri sonucunda ulaşılan sonuçlar maddeler halinde sunulmuştur

• Her iki numune grubunda da ilerleme miktarının düşük olduğu şartlarda en iyi yüzey pürüzlülük değerleri elde edilmiştir.

• İşlenebilirlik deneyleri sonunda kesici takımlarda difüzyon aşınması, serbest kenar aşınması ve yığma kenar oluşumunun yanı sıra krater oluşumu da gözlemlenmiştir.

• Ölçülen yüzey pürüzlülük değerleriyle takımlardaki aşınmaların paralellik gösterdiği, yüzey pürüzlülüğünün yüksek değerlerde ölçülen numuneleri işleyen takımların daha fazla aşınmış oldukları gözlemlenmiştir.

• Yaşlandırma işlemi ile malzemede elde edilen β-fazı oranı yaklaşık %24,59 iken tavlama işlemi ile elde edilen bu değer yaklaşık %37,91 olarak tespit edilmiştir. Bunu sonucu olarak 23,2 HV sertlik artışı görülmüştür.

• Sertlik değeri düşük ve α-fazı oranı yüksek olan yaşlandırılmış numunelerin frezelenmesinde ilerleme miktarı arttırıldıkça işlemlerin gerçekleştirilemediği ve kesici takımların her deney tekrarında kırıldığı gözlemlenmiştir. HSP kristal kafes yapısının (β-fazı) kayma düzlemindeki atom doluluk oranının HMK kristal kafes yapısına (α-fazı) oranla daha yüksek olması nedeniyle daha sert olan β-fazında daha kolay plastik deformasyon meydana gelmesi nedeniyle, % β-fazı oranı yüksek tavlanmış numunelerde yüksek ilerleme miktarı kullanılarak gerçekleştirilen frezeleme işlemlerinde cepler işlenebilmiştir

Yapılan bu çalışmada yüksek mekanik özellikleri ile birçok sektör tarafından tercih edilen Ti6Al4V alaşımının işlenmesinde uygun parametre seçimine katkı sunulması amaçlanmıştır. Gelecek çalışmalarda farklı soğutma koşullarının (Kuru-Islak-MQL) kullanıldığı şartlarda deneyler tekrarlanarak optimum şartlar araştırılabilir. Ayrıca Ti6Al4V alaşımdaki farklı β-fazı oranının kanal ya da ince duvarların işlenmesinde deney sonuçlarına etkisinin olup olmadığı araştırılabilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri birimi (BAP) tarafından 2018-005 numaralı proje ile maddi olarak desteklenmiştir. Yazarlar, makalenin inceleme ve değerlendirme aşamasında yapmış oldukları katkılardan dolayı editör ve hakemlere teşekkür eder.

Kaynaklar

Ahmadi, M., Karpat, Y., Acar, O., & Kalay, Y. E. (2018). Microstructure effects on process outputs in micro scale milling of heat treated Ti6Al4V titanium alloys. Journal of Materials Processing Technology, 252, 333-347. 10.1016/j.jmatprotec.2017.09.042

Akyol, S. (2007). Ti6al4v Titanyum Alaşımının İşlenebilirliğinin Isıl İşlem Yardımıyla Arttırılması (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Cui, C., Hu, B., Zhao, L., & Liu, S. (2011). Titanium alloy production technology, market prospects and industry development. Materials & Design, 32(3), 1684-1691. 10.1016/j.matdes.2010.09.011

Çalışkan, H., & Küçükköse, M. (2015). The effect of aCN/TiAlN coating on tool wear, cutting force, surface finish and chip morphology in face milling of Ti6Al4V superalloy. International Journal of Refractory Metals and Hard Materials, 50, 304-312. 10.1016/j.ijrmhm.2015.02.012

Dilipak, H., ve Gezgin, A. (2010). AISI D3 çeliğinin frezelenmesinde, kesici uç sayısı, kesme hızı ve ilerleme miktarının yüzey pürüzlülüğü üzerindeki etkilerinin araştırılması. Politeknik Dergisi, 13(1), 29-32. 10.2339/2010.13.1,29-32.

Ding, R., Guo, Z. X., & Wilson, A. (2002). Microstructural evolution of a Ti–6Al–4V alloy during thermomechanical processing. Materials Science and Engineering: A, 327(2), 233-245. 10.1016/S0921-5093(01)01531-3

Ezugwu, E. O., & Wang, Z. M. (1997). Titanium alloys and their machinability—a review. Journal of materials processing technology, 68(3), 262-274. 10.1016/S0924-0136(96)00030-1

Gilbert, R., Shannon, C. R. Heat Treating of Titanium and Titanium Alloys. ASM Handbook 9. Edition Vol 4, Heat Treatin. 2004, s. 2043-2971.

İşler, A. (1999). Titanyum Alaşımlarının Isıl İşlem ve Mekanik Özellikleri (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Jing, X., Li, H., Wang, J., Yuan, Y., Zhang, D., Kwok, N., & Nguyen, T. (2017). An investigation of surface roughness in micro-end-milling of metals. Australian Journal of Mechanical Engineering, 15(3), 166-174. 10.1080/14484846.2016.1211472

Jovanović, M. T., Tadić, S., Zec, S., Mišković, Z., & Bobić, I. (2006). The effect of annealing temperatures and cooling rates on microstructure and mechanical properties of investment cast Ti–6Al–4V alloy. Materials & design, 27(3), 192-199. 10.1016/j.matdes.2004.10.017

Leyens, C., & Peters, M. (Eds.). (2003). Titanium and titanium alloys: fundamentals and applications. John Wiley & Sons.

Liu, X., Chu, P. K., & Ding, C. (2004). Surface modification of titanium, titanium alloys, and related materials for biomedical applications. Materials Science and Engineering: R: Reports, 47(3-4), 49-121. 10.1016/j.mser.2004.11.001

Yılmazer, H. (2008). Titanyum Ve Titanyum Alaşımlarının Yüzey Özelliklerinin Plazma (iyon) Nitrürleme İle İyileştirilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Zhang, S., Li, J. F., Sun, J., & Jiang, F. (2010). Tool wear and cutting forces variation in high-speed end-milling Ti-6Al-4V alloy. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 46(1-4), 69-78. 10.1007/s00170-009-2077-9

Zhu, Z., Sun, J., Li, J., & Huang, P. (2016). Investigation on the influence of tool wear upon chip morphology in end milling titanium alloy Ti6Al4V. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 83(9-12), 1477-1485. 10.1007/s00170-015-7690-1

Facility Layout Design and a Decision Support System Creation in a Furniture Manufacturing Plant

Meryem ULUSKAN*[1a] Naime OKYAY[1,b], İrem KAYA[1,c]
[1]*Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Industrial Engineering, 26480, Eskişehir, TURKEY*

Abstract

This study aims to conduct a facility layout design through integration of lean manufacturing methods. Particularly, in this study, the goal is to identify and eliminate the problems encountered within a furniture manufacturing plant. Accordingly, defect report checklists, Pareto analysis, fishbone diagram and work study applications, such as time and motion study, were used to determine the problems within the plant. Besides lean manufacturing applications such as 5S, AutoCad and Microsoft Excel programs were used for improvements. A new facility layout was created using the AutoCad program and layout improvements were made at the factory with new and additional equipment such as conveyor system. Production rate was increased as a result of the use of the conveyor system, which facilitated the transportation between the work stations. In addition, as a decision support system, a inventory tracking system was created using Excel VBA. With this VBA based system, considerable cost and time savings have been achieved. After the improvements were made, the measurements were re-taken and the results obtained were compared with the pre-improvement results. Results revealed the fact that significant efficiency improvements along with considerable cost and time savings have been achieved. In the edge banding machine alone, an increase of 64.5% in productivity and a savings of 100,242 TL was achieved in labor costs.

Keywords: Conveyor system, Decision support system, Facility layout design, Furniture manufacturing, Inventory tracking, Lean manufacturing

1.Introduction

Facility layout is to plan an optimum arrangement of facilities, comprising employees, operating equipment, storage space, material handling equipment, and all other supporting services along with the design of the best structure to contain these facilities (Moore, 1962; Telsang, 2007). Therefore, the coordination of production-related activities as a whole, such as production equipment, workstations, and auxiliary facilities, as well as transportation, storage, and quality control, is called facility layout (Bolat, 2007). It is simply an appropriate arrangement of various aspects in manufacturing to achieve desired production results.

On the other hand, lean manufacturing is a powerful quality management system for eliminating waste, controlling quality and inventory, and improving overall performance (Wilson, 2010). Although there exist studies that conducted facility layout design through integration of lean manufacturing methods (e.g. Tarigan, Cahyo, Tarigan & Ginting, 2019), the number of these studies is limited. Moreover, not many papers conducted case study type reseach on furniture and wood products industries, since a literature review covering the years between 2010-2019, which was conducted by Antony, Psomas, Garza-Reyes and Hines (2020), revealed that out of 131 companies only 4 were furniture and wood products manufacturers.

Accordingly, the aim of this study is to create a production environment in which time loss is minimized by reducing material, human and transportation movements and to create a flexible layout in the factory where changes that will eliminate complexity can be easily applied. In addition to creating this

systematic layout in the factory, eliminating unnecessary work and tools, simplifying production and stock areas, minimizing disruptions in access to equipment, increasing productivity by making improvements that show the success and profitability of the business are among the objectives of this study.

In order to achieve these defect checklists, fishbone diagram and work study applications such as time and motion study, were used to determine the problems within a furniture manufacturing plant. Besides lean manufacturing applications such as 5S, AutoCad and Microsoft Excel programs were used for improvements. After the necessary methods were applied and improvements were made, the measurements were re-taken and the results obtained were compared with the pre-improvement results. In addition, as a decision support system, a inventory tracking system was created using Excel VBA. With this VBA based system, considerable cost and time savings have been achieved. After the improvements were made, the measurements were re-taken and the results obtained were compared with the pre-improvement results. The remainder of the paper is as follows: In the second part, the factory is introduced and the problems encountered and the definitions of these problems are given, in the third part, the solution suggestions and improvement studies are given and finally the decision support system for inventory tracking as well as improvements made are given in the last part.

2. Problems Encountered in the Plant

The main problem encountered is the disorganization in the plant and the resulting time loss and inefficiency. Sub-problems related to these are also defined. These are;

- Inability to hold the edgebanding due to the bending part in the machine.
- Adhesive tape not holding the edge of the piece.
- Tape distortion caused by edge breakage during the cutting process.
- Wear of the edge of the part that is at the bottom when transferring parts from the buffer stock onto the pallet.
- Dimensional difference due to incorrect placement of the part in the drilling machine.
- Material scratches due to carelessness, handling operations such as part loading and unloading.

3. Materials and Methods Used In The Solution

3.1. Ishikawa Diagram

The fishbone or Ishikawa diagram, whose shape is similar to a fish skeleton, is used to identify many possible causes for a problem. It helps to sort causes for a particular issue into useful categories. In particular, a fishbone diagram, is a common tool used for a cause and effect analysis to identify a complex interaction of causes for a specific problem or event (Coccia, 2018). Thanks to the systematic approach offered by this diagram, it is possible to facilitate the problem solving process, to reveal everything known about the problem, and to find the unknown by using the expertise of people who have direct experience with the problem (Akşit, 1999).

For these reasons, it was decided to use the Ishikawa diagram created as in Figure 1. The most important source of the detected errors is the disorganized layout within the factory. As a result of the disorganized layout, products are forgotten in the warehouse, stacks are mixed and the edges of the parts are broken by mistake. In addition operator related errors occur due to negligence and distraction. Moreover, since the cutting operations plan is not provided by the production planning department, the operator prepares the cutting plan himself, thus increasing the waste rate.

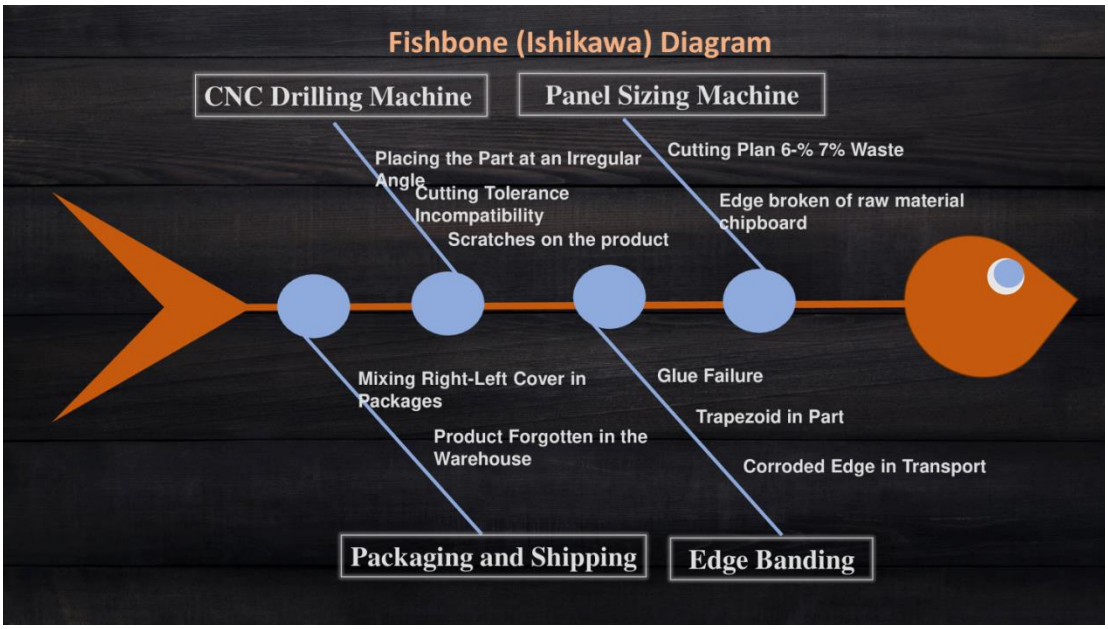


Figure 1. Ishikawa diagram

3.2. Changing the Facility Plan and Worker Movements

In order to eliminate the specified problems, it was decided to change the existing factory layout and switch to the conveyor system. The point to be considered when choosing an in-plant transmission system in the wood industry is to prefer ergonomic transmission system models considering the characteristics of the product to be conveyed, facility size and material flow rate (Atılgan, Ulusoy, Tan and Peker, 2017). Considering these factors, the conveyor has been chosen as the in-plant transmission system. Conveyor is a continuous transfer mechanism that allows a material to be transferred from one end to another. In this factory, the movement of the conveyors is provided by manpower. Figure 2 shows both the previous and current facility layouts.

In the previous layout, machine-to-machine transport was achieved using pallet jacks, and the time lost in transporting work-in-process inventory was too much. For this problem, a new facility layout was created using the AutoCad Program and layout improvements were made at the factory with new and additional machines. In addition, unnecessary movements have been eliminated by observing operators.

In the new layout, initially, the dining tables, which stayed at the entrance of the factory, and unnecessary materials were removed and conveyors were placed by moving the panel sizing machines. The work pieces coming out of the cutting operation were transferred to the edge banding machine by means of conveyors. Similarly, all the parts moving along the production line were stacked on the conveyors and transmitted to other machines via these conveyors. Transfer conveyors were used between each machine and the hence processed parts were collected more systematically. With the conveyors that descend and rise according to the stacking weight, movement efficiency of the operators has been ensured, and the risky movements including weight lifting are eliminated with the reduced transportation time.

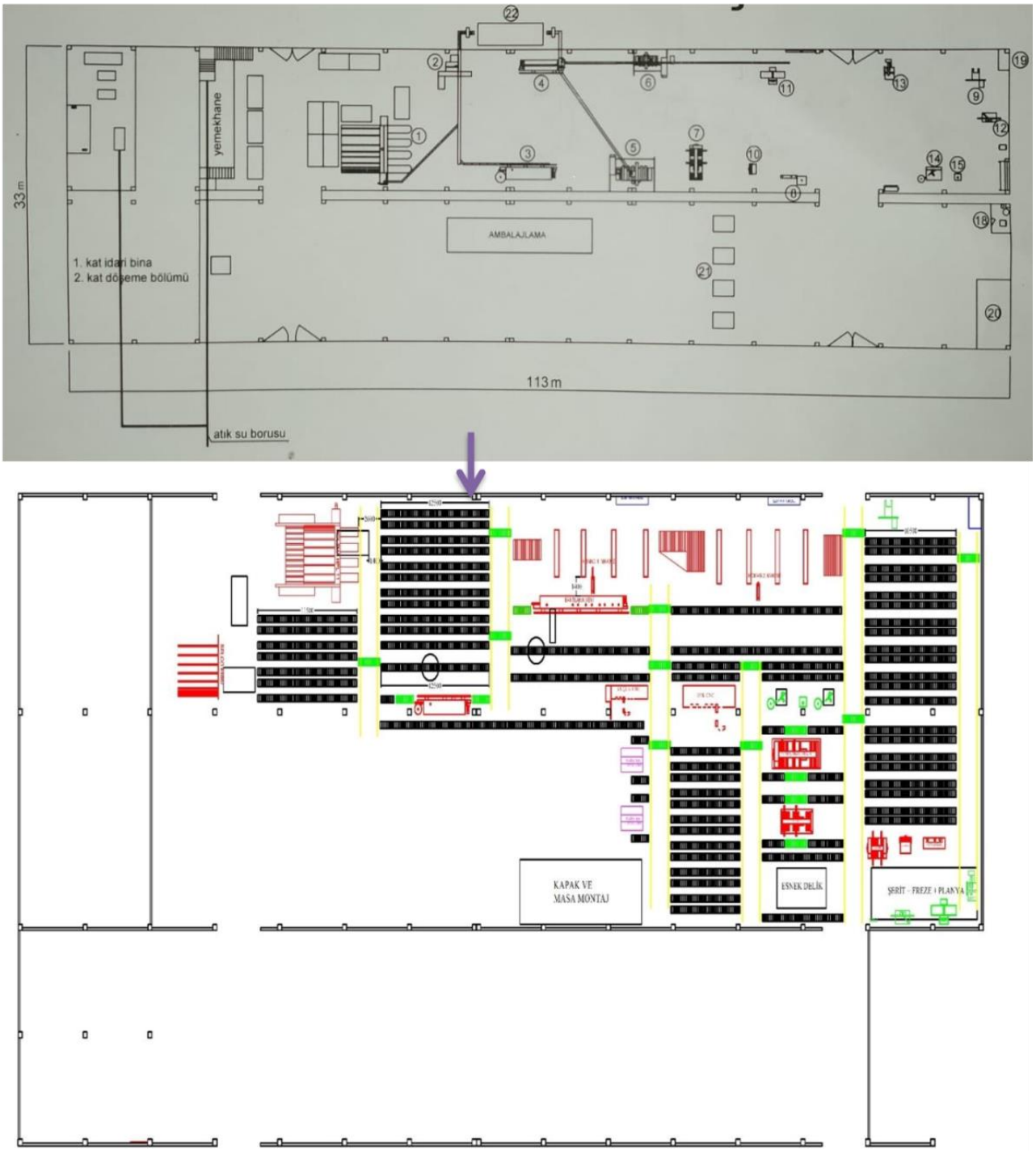


Figure 2. Previous layout and the current layout

A few examples of the positive consequences of these layout changes are given in Figure 3 through Figure 9. Figure 3 shows the new facility layout in which conveyors are utilized.



Figure 3. New layout with conveyors

Since the semi-finished products were accumulated between the machines, the parts to be processed could not be reached easily. For this reason, it was a waste of time because the worker had to load the front parts on the pallet and put them aside in order to get the part left behind. In the new layout, time waste has been eliminated with conveyors (Figure 4).



Figure 4. Inter-stock conveyors 1

Workers were getting tired and working at a slow pace due to heavy chipboards and unnecessary transportation. The number of faulty products as a result of carelessness was high. With the conveyors and the new layout, the production has increased and the number of defective products has decreased by changing the movements. The stacking order with conveyor system is shown in Figure 5.



Figure 5. Stacking order with conveyors

While it took 19 seconds for the CNC machine to take the stack diagonally and place it on the machine, it was reduced to 5 seconds in the new layout. The conveyor for the CNC machine is shown Figure 6.



Figure 6. Conveyor between CNC machine

Inter-stock transport conveyors are shown Figure 7.



Figure 7. Inter-stock transport conveyors

In the single edge banding machine, the transport from the pallet to the machine was approximately 19 seconds, while it was reduced to 5 seconds with the new layout. In addition, in small banding, the process of transporting the product to the intermediate stock took about 4 minutes. With the new arrangement, 4 transportations made with a pallet jack on a single edge banding machine have been removed, and the edge changing is provided automatically with the rotary conveyor system. Figure 8 shows the rotating conveyor in the banding machine. Figure 9 shows that the conveyor adjusts its height by rising and falling according to the weight of the parts.



Figure 8. Rotary conveyor in taping machine



Figure 9. The conveyor rises down

3.3.Time and Motion Study

The time study is a measurement technique used to determine the time required by a skilled and normal-paced worker to perform a common repetitive work where the workforce is dominant, where the worker can direct the work and the workbench. (Kahya, 2017).

The methodology study is a systematic recording and critical review of the existing and recommended paths in the construction of a job, in order to develop, implement and reduce the costs of suggested paths, easier and more effective methods. The aim is to increase efficiency by eliminating or reducing the time of unnecessary activities during the work's construction.

The improvements made according to the defined studies are as follows. Figure 10 shows time measurements before and after improvement made for banding machines. These measurement results show that the time to transport parts from the pallet to the machine in the edge banding machine has decreased from an average of 13 seconds in the previous layout to an average of 5 seconds in the new layout. The new banding machine is faster and its production is accelerated with the use of conveyors. Figure 10 shows that the transport times before the banding machine was upgraded. Similarly, Figure 11 shows that the transport times after the banding machine has been upgraded.

Console Base Plate	(length * width)		Piece	
	1805*440		60	
	Big Edge Banding Machine			
	Placing on the machine		Placing on Pallet	
Observation No	Transport Time (sec)	Transport Time (sec)	Transport Time (sec)	Transport Time (sec)
1	14	15	10	10
2	14	14	17	12
3	14	14	10	11
4	13	11	15	11
5	13	8	12	11
6	14	11	8	15
7	14	14	14	10
8	13	16	11	9
9	12	10	11	15
10	13	14	20	13
11	12	13	8	11
12	13		13	
Average Duration	13		12,05	

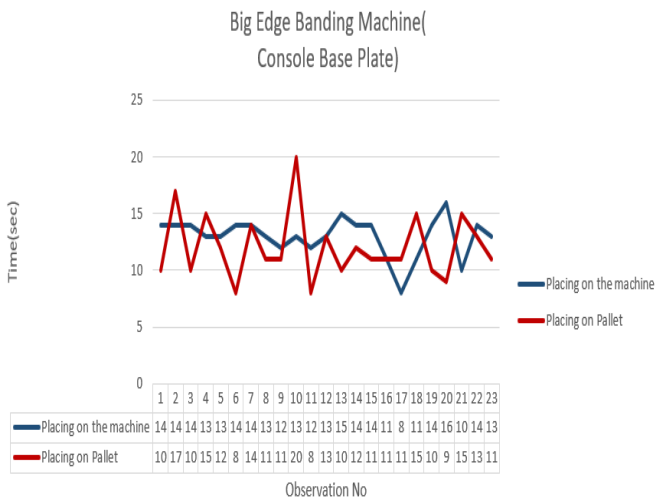


Figure 10. Before the taping machine improvement

5200 series TV Base Module Top Table	(length * width)	Piece
	1628*353	
	New Edge Banding Machine	
	Placing on the Machine	Placing on Pallet
Observation No	Transport Time (sec)	Transport Time (sec)
1	4	5
2	6	4
3	4	5
4	4	6
5	4	7
6	5	5
7	5	6
8	5	6
9	4	5
10	4	5
11	4	5
12	4	6
13	5	6
14	4	5
15	4	5
16	4	5
17	4	6
18	5	6
19	4	5
20	4	5
21	4	5
22	4	6
23	6	7
Average Time	4	5

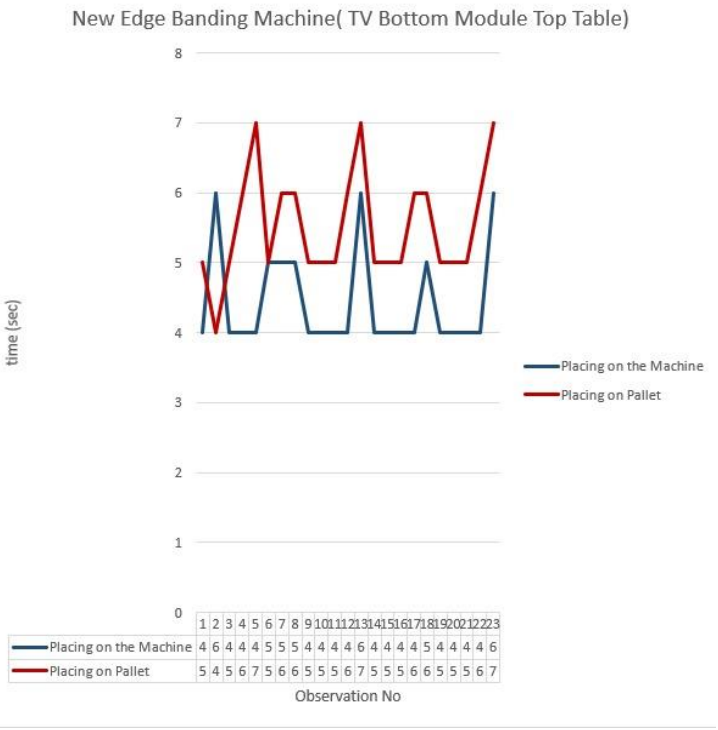


Figure 11. After the taping machine improvement

Figure 12 shows the situation before the improvement made for the small CNC machine, whereas, Figure 13 shows the after improvement made. When we look at the transport times between pallet and machine for the small CNC machine, it has decreased from 31 seconds in the previous layout to 1 second in the new layout. The reasons for this change were conveyors being closer to the machine, the elimination of unnecessary worker movements, and the higher speed of the new machine. Transport times in the new location have decreased to standard and average 5 seconds for each machine. Production has been increased and accelerated, resulting in improved productivity.

Dresser Rear	(length * width)	Piece
	100*1014	60
	Small CNC Machine	
Observation No	Placing on the machine	
	Transport Time (sec)	Transport Time (sec)
1	26	154
2	34	153
3	11	136
4	27	127
5	25	125
6	37	128
7	31	128
8	39	122
9	33	130
10	24	128
11	26	125
12	33	127
13	26	128
14	47	130
15	43	122
16	26	128
17	23	128
18	33	136
19	39	128
20	37	127
Average Duration	31	131

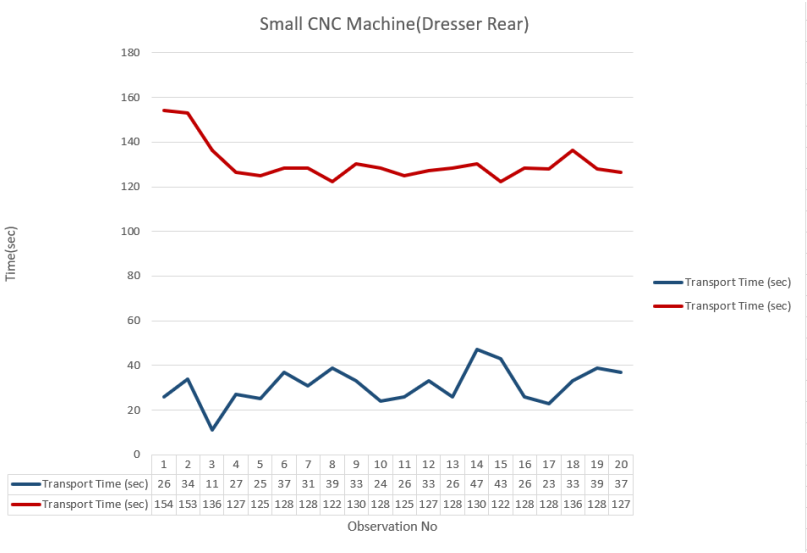


Figure 12. Before the improvement of the small CNC machine

5100 series Dresser Drawer Rear (4 Holes)	(length * width)	Piece
	460*150	
	Small CNC Machine	
	Placing on the Machine	Placing on Pallet
Observation No	Transport Time (sec)	Transport Time (sec)
1	2	6
2	3	8
3	4	6
4	4	5
5	3	5
6	3	5
7	4	7
8	3	5
9	5	5
10	2	7
11	3	7
12	3	6
13	3	7
14	3	6
15	4	7
Average Time	3	6

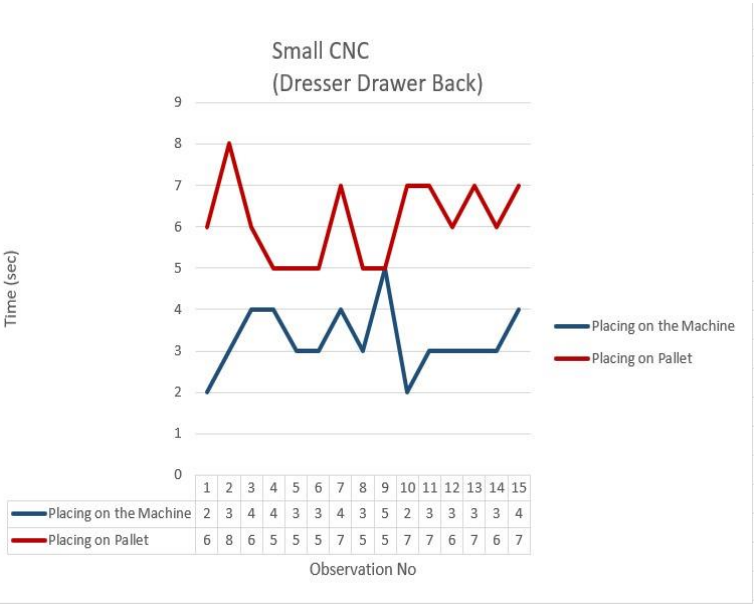


Figure 13. After the improvement of the small CNC machine

3.3.1. Transportation Time Comparison

The time savings due to reduction of transportation times from tape machine to pallets is shown in Figure 14.

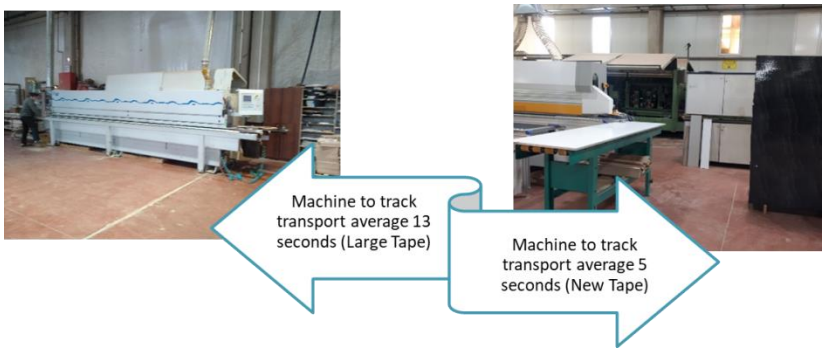


Figure 14. Tape machine comparison

The distance of the part stacks from the machine is important for time savings. The stack should be close to the machine. The time savings due to reduction of transport times from stack to large CNC machine is shown in Figure 15.

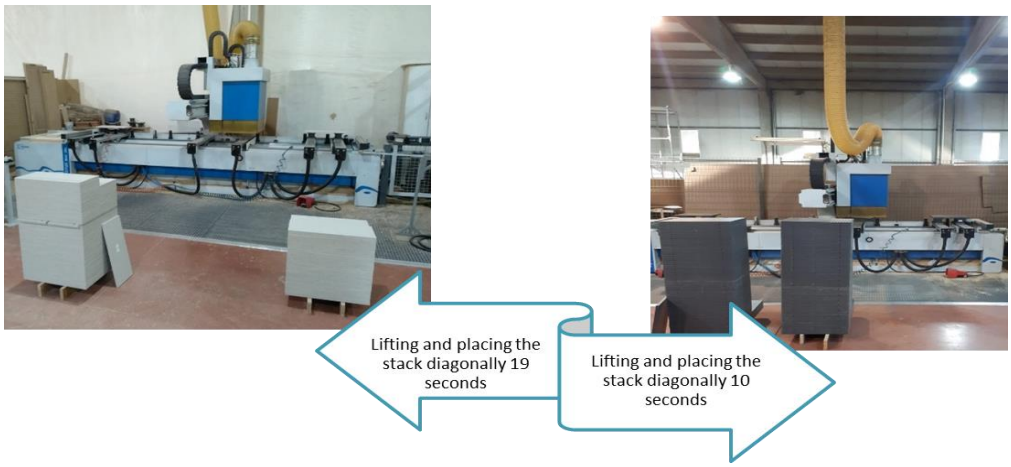


Figure 15. Big CNC machine comparison

In the new layout, the stacks were placed closer to the machine and the feeding of the parts to the machine was ensured in accordance with the machine. For the small CNC machine in figure 16, a comparison of transport time is given. The time savings due to reduction of machine feeding times from stack to small CNC machine is shown in Figure 16.

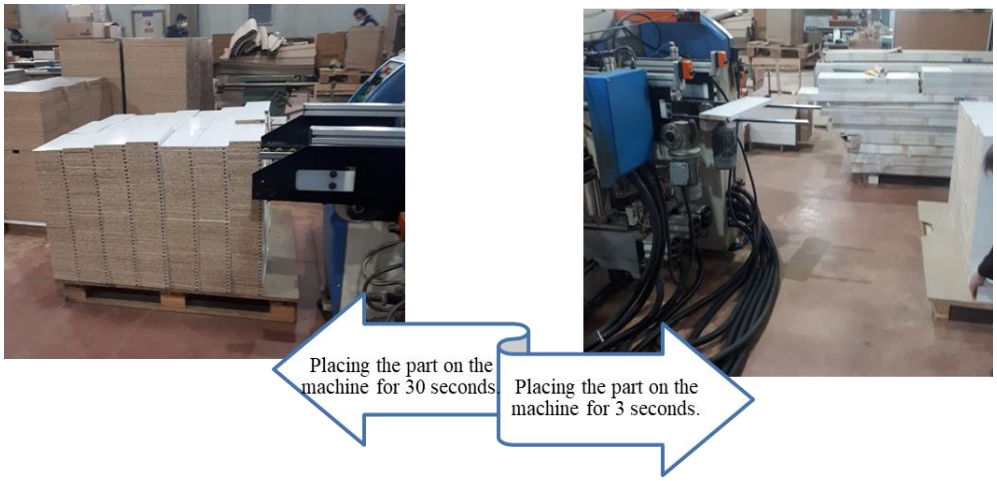


Figure 16. Small CNC machine comprasion

3.4. Lean Methods: 5S Application

5S is a lean management system which was born in Japan. 5S ensures order in workplaces, unnecessary material prevention of stock, employee productivity increase, proper and easily accessible archiving, reduction of material and labor waste. Briefly, in English, the five S's are translated as Sort, Set in Order, Shine, Standardize and Sustain (Gapp et al., 2008).

In the study plant, 5S was applied in the hardware department. Previous layout and condition of hardware stocking area is shown in Figure 17, whereas, new hardware stocking area with shelves is shown in Figure 18.



Figure 17. The previous hardware department



Figure 18. Shelves for the new hardware department

In the previous layout there was an un-ergonomic desk with scattered boxes in the hardware section. In addition, the available stock quantities could not be known because the materials were randomly placed in a mixed way. With the change made in the facility layout for this section, the hardware section was moved to a wider area and new shelves were purchased (Figure 18). The space occupied by the materials according to their volume has been calculated and the appropriate layout has been made considering the frequency of use of the materials. In this department, an ergonomic table has been prepared for the worker and at the same time, a software has been started to be used for tracking material input and output.

Figure 19 shows the volume calculation for the hardware inventory keeping shelves. Before this calculation, the materials list showing different groups of hardware was prepared. The new shelves were tagged with column names, such as column A, column B. Different batches of materials were placed in each column of shelves, with the most frequently used were placed on the shelves which are closest to the worker (for example, handles were placed on the A column, and feet on the B column). In addition, the materials in each cell are specified with the software that has been started to be used. Thus, the number of materials and their locations are known and standardized.

length (cm)	width (cm)	height (cm)	volume (cm3)	box	Volume* Box	distance	
26	40,5	17	17.901	3	53.703	hard by	takes up less space than a column
29,5	40,5	30	35.842,50	5	179212,5	near	takes up less space than a column
20	29,5	9	5.310	10	53100	near	takes up less space than a column
16,5	26	9	3.861	3	11583	near	takes up less space than a column
19	19	8	2.888	1	2888	near	takes up less space than a column
13	22	9	2.574	1	2574	near	takes up less space than a column
29,5	23,5	19,5	13.518,38	50	675918,75		takes up less space than a column
31	44	13	17.732	9	159588		takes up less space than a column
30	40	10	12.000	8	96000		takes up less space than a column
bag							takes up less space than a column
13	22	9	2.574	3	7722		takes up less space than a column
13	22	9	2.574	3	7722		takes up less space than a column
13	22	9	2.574	10	25740		takes up less space than a column
55	40	35	77.000	60	4620000		takes up less space than a column
30	40	10	12.000	3	36000		takes up less space than a column
30	40	10	12.000	3	36000		takes up less space than a column
13	22	9	2.574	15	38610		takes up less space than a column
40	32	10	12.800	10	128000		takes up less space than a column
52	95	20	98.800	3	296400		takes up less space than a column
64	34	10	21.760	10	217600	far	takes up less space than a column
49	40	34	66.640	160	10662400	far	one column is not enough
29,5	40	12	14.160	240	3398400	far	takes up less space than a column
29	40	29	33.640	69	2321160	far	takes up less space than a column
30	40	10	12.000	3	36000	far	takes up less space than a column
			total volume of hardware		23.066.321		

	length (cm)	width (cm)	height (cm)	Volume (cm3)
A1	271	90	110	2682900
A2	271	90	74	1804860
A3	271	90	74	1804860
A4	271	90	74	1804860
volume of a column				8.097.480
total volume of shelves				112.486.680

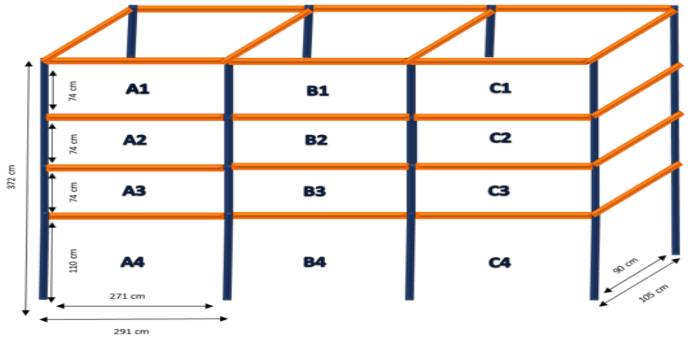


Figure 19. The work for racking up the shelves

3.5. Inventory Tracking Decision Support System Design

In the previous system, the records of incoming and outgoing inventory as well as orders were kept by manually entering data one by one in Microsoft Excel. In order to facilitate and speed up these inventory management processes, an inventory tracking decision support system was created using Excel VBA. With this system created, cost and time savings have been achieved.

Inventory Tracking System designed consists of 7 pages namely; Home, Incoming Material, Outgoing Material, Existing Inventory, Order Reserve, Settings and Parts-Finished Goods. The purpose, as stated, is to provide easy data entry, as well as to speed up the incoming-outgoing processes of the products, to support the decision-maker by facilitating the tracking of the parts to be ordered in terms of both quantity and type, and to ensure efficient decisions regarding part-material orders and inventory management. The general flow diagram for the created decision support system is given in Figure 20. In the system designed, a commandbuttton exists on the *home page* to access the inventory tracking system. The home page is shown Figure 21.

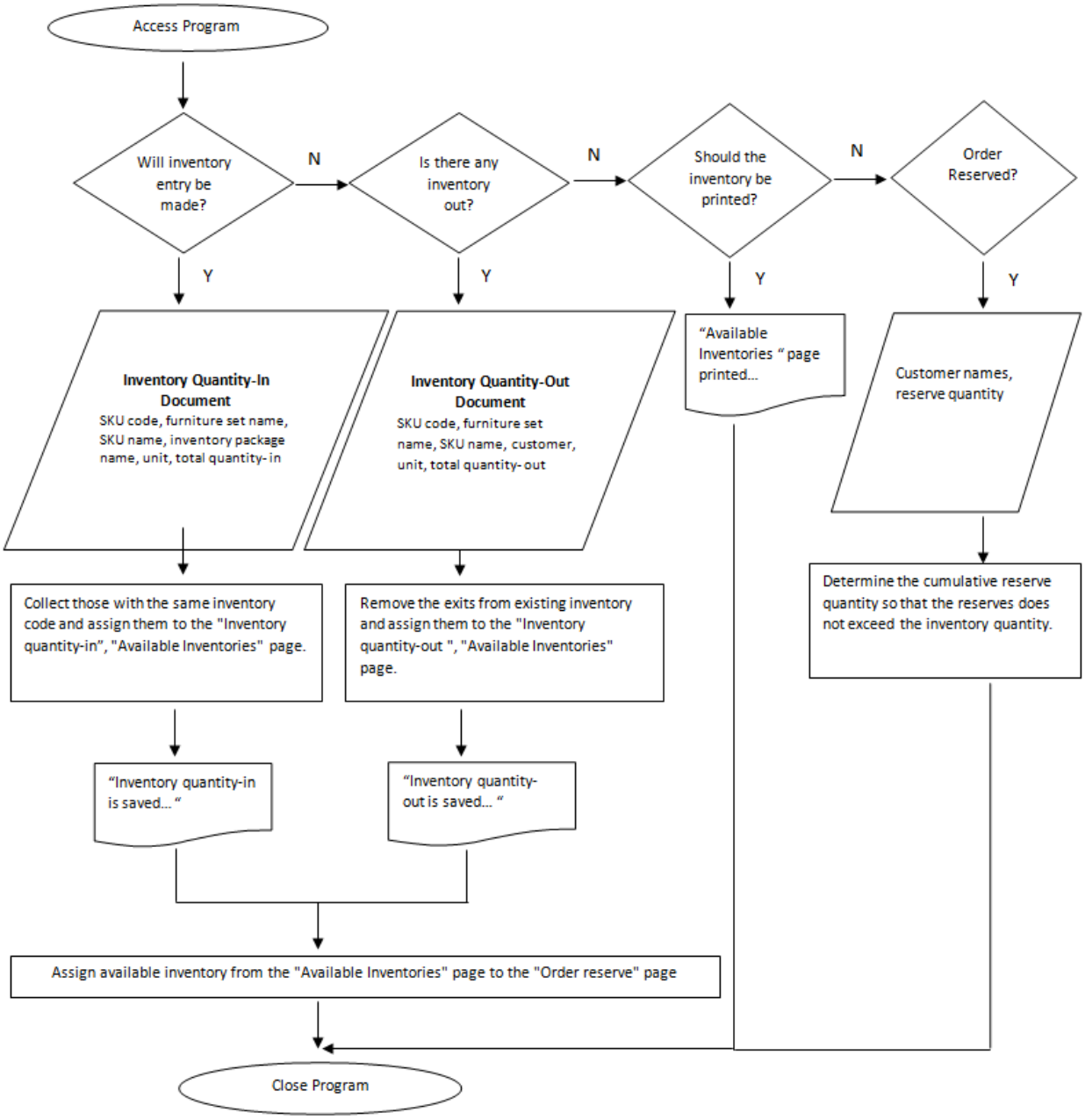


Figure 20. Inventory Tracking Decision Support System Algorithm



Figure 21. Main Page

On the Home Page there is a commandbutton to enter the program. With this button, the userform appears before the user and all operations are performed through this userform. In the userform that opens, there are *inventory quantity-in*, *inventory quantity-out*, *print* and *order reserve* buttons. The data, which can be entered into the system easily through the userform, is printed on 4 Excel sheets, namely, inventory quantity-in, inventory quantity-out, available inventories, order reserve and inventory package - for the furniture set, in the background. This userform is shown Figure 22.

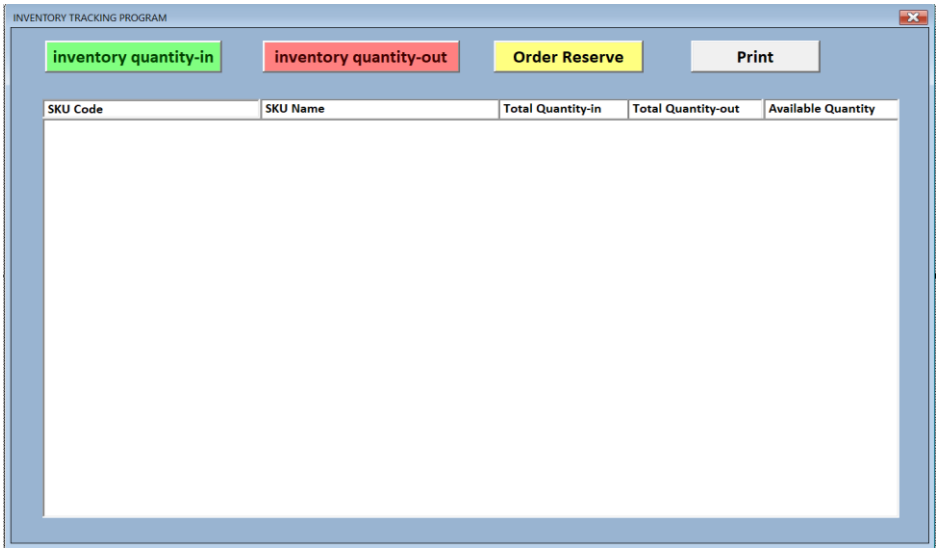


Figure 22. Userform

With the inventory quantity-in button, furniture set name, SKU code, inventory package name, unit, quantity entered and date are recorded on the entry page, whereas inventory name and total quantity are recorded on the available inventories page. While data entry is being made, the number of sub-parts for each product are collected and added to inventories when the inventory is available. With the inventory quantity-in form, for example, when entering the data of the lower parts of the wardrobe product (right door, left door, rail, drawer, etc.) on the entry page, the total number of wardrobe items in the current inventories are calculated. Inventory quantity-in is shown Figure 23.

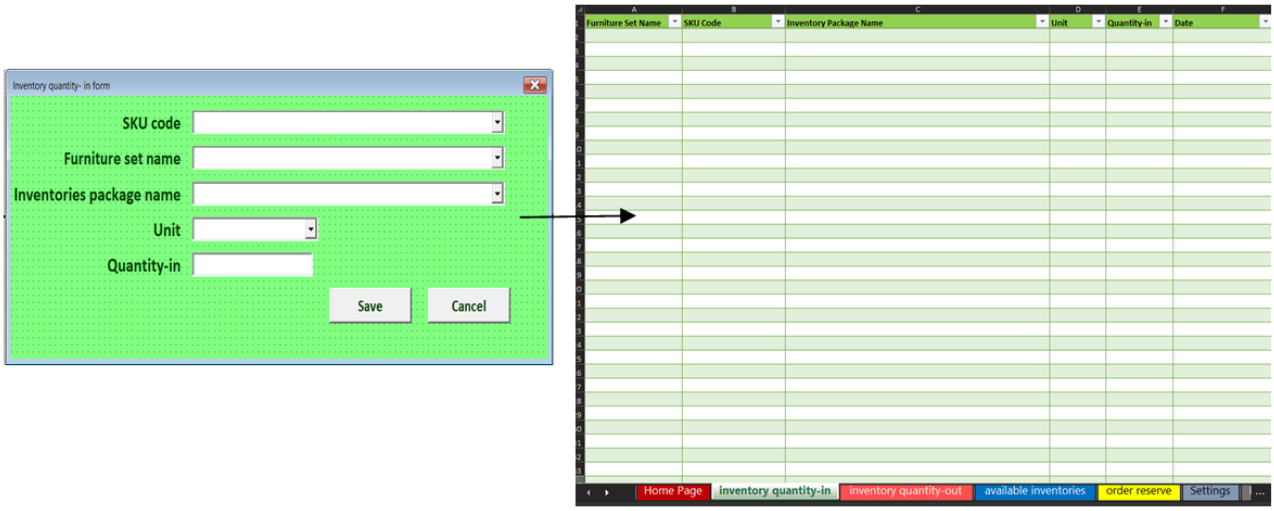


Figure 23. Inventory quantity-in

SKU code, SKU name, unit, quantity-out, date and customer; SKU code, SKU name, quantity-out data are recorded on the available inventory page. It is ensured that the products to be issued are printed on the inventory quantity-out page by entering customer names. Inventory quantity-out is shown Figure 24.

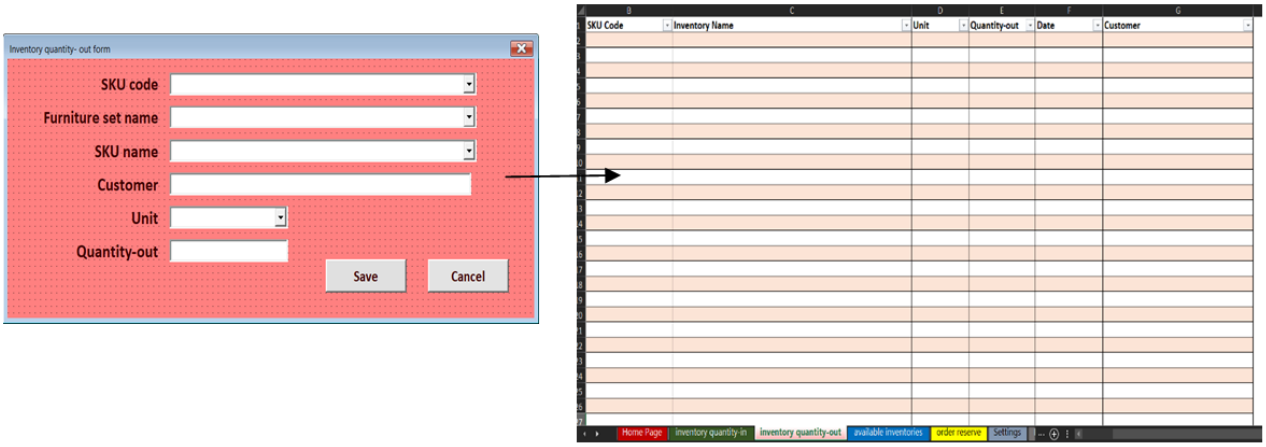


Figure 24. Inventory quantity-out

On the available inventories page, there exist SKU code, SKU name, unit, total quantity-in, total quantity-out and available inventory. While recording inventories and making entries and exits, the total inbound, outbound total and inventory availability data for each product are automatically printed on the available inventories page. Critical data on this page are available inventories for each product. Available inventories page is shown Figure 25.

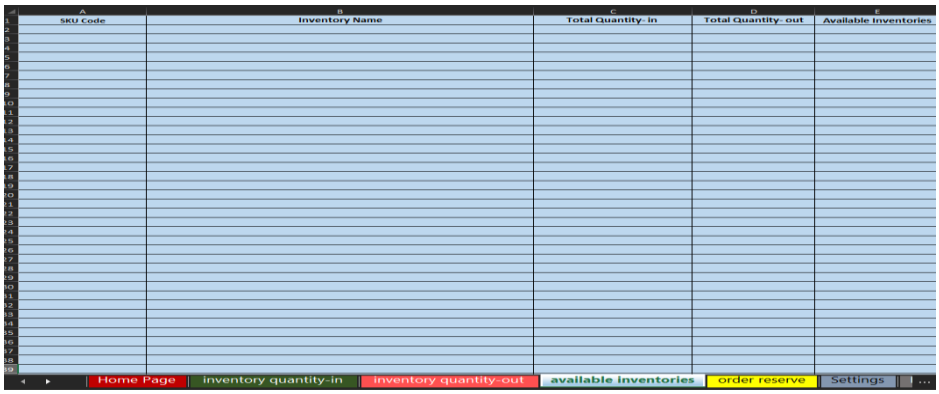


Figure 25. Available inventories page

On the order reserve page, there exist furniture set names, SKU codes, SKU names, available inventory, company names and order numbers. In order to reserve orders for customers over the available inventories, the data on the available inventory page is drawn to the order reserve page with the crosswise formula. In fact, the necessary data will be printed on all pages automatically using the input and output data. The order reserve page is shown in Figure 26.

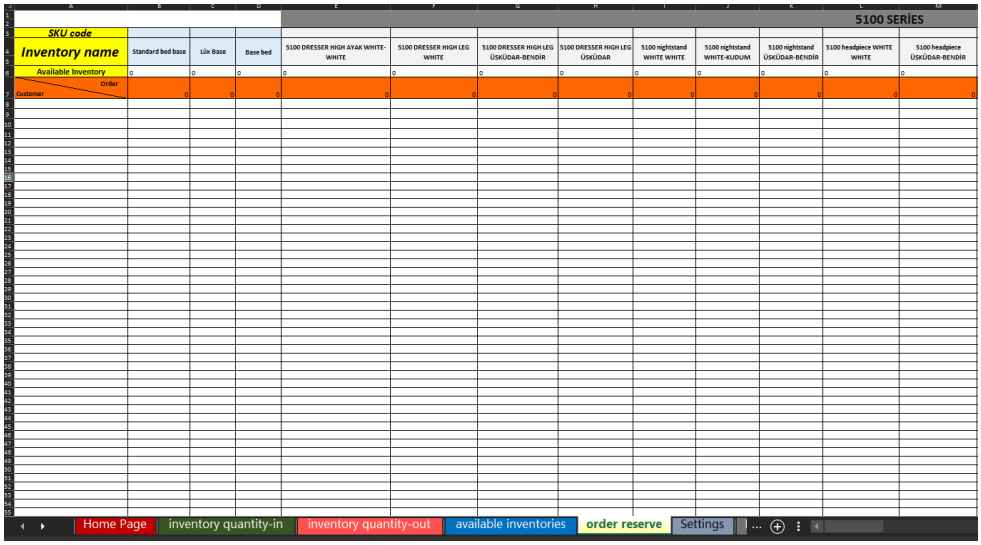


Figure 26. Order reserve page

On the inventory package page, there are sub-part names for each product that makes up the inventories. Through this page, the overall quantity of the final products that comprise relevant sub-parts are calculated. On the settings page, there exist the unit, furniture set names, inventory package names and SKU codes. It is drawn from the *settings* page that comes to the combobox in the userform. When a new furniture set is added or a model is removed, it will be conducted on this page and sent to the combobox. The settings page is shown in Figure 27.

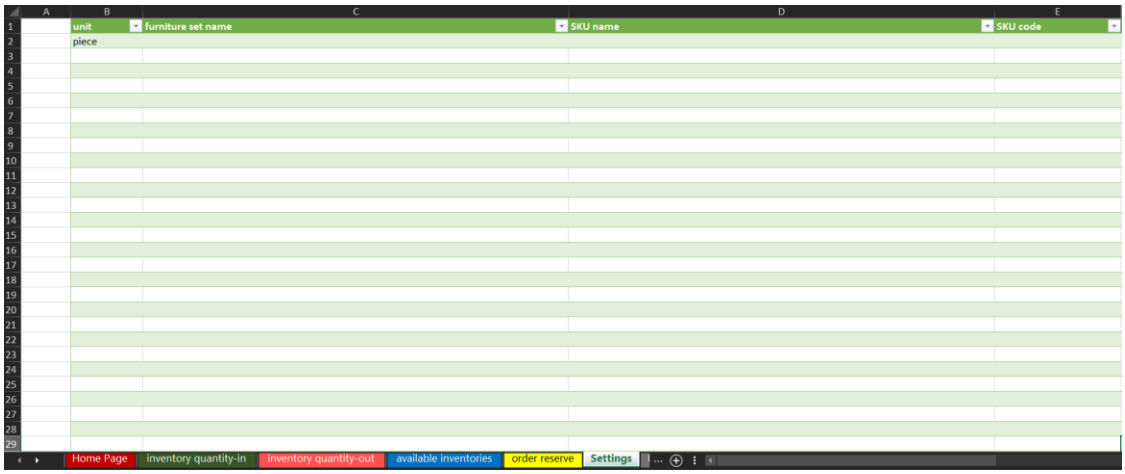


Figure 27. Settings page

3.6. Cost Analysis

Cost analysis provides an opportunity to evaluate the effectiveness of initiatives. Furniture Factory has made a cost analysis for the dining room, bedroom, TV unit sets to increase its performance. In the cost analysis, the unit costs for each product were calculated by considering the costs of raw materials (chipboard), edge band, profile, hardware, base, glass-mirror and other materials, labor costs, depreciation fees in detail.

Hourly labor wage two workers (banding) : 55.69 TL
Daily labor fee (1 day = 8 hours) : 8×55.69 = 445.52 TL
Hourly labor wage one workers (Small CNC) : 3.77 TL
Daily labor fee (1 day = 8 hours) : 8×31.77 = 254.16

For example, in large banding, an average of 0.007 hours was spent for 1 piece in theprevious time study, while an average of 0.0025 hours was spent in the new time study. Previously, averages of 143 pieces were produced in 1 hour, whereas currently 400 pieces are produced. There is a 64.5% increase in production.

Ultimately, the daily production quantity with the new equipment is approximately 2.8 times more on the previous production quantity. With the improvement, a gain of 100.242 TL was achieved.

4. Discussion and Results

The goal of this study was to conduct a facility layout design through integration of lean manufacturing methods. Specifically, this study aimed to determine and eliminate the problems encountered within a furniture manufacturing plant. In order to achieve the goal, defect report checklists, Pareto analysis, fishbone diagram and work study applications, such as time and motion study, were used to determine the problems within the plant. Besides lean manufacturing applications, such as 5S, AutoCad and Microsoft Excel programs were used for improvements. A new facility layout was created using the AutoCad program and layout improvements were made at the factory with new and additional equipment such as conveyor system.

To summarize the results briefly:

- Mixed stacks were placed together with the conveyors according to the working order, minimizing time loss due to transportation.
- Worker/operator movements are standardized, whereas unnecessary movements are removed. Time waste is reduced and productivity is increased.

- New equipment saved time and accordingly production rate and efficiency are increased.
- Stock control was provided by one data entry. Process load removed with the Stock Program created with Excel VBA and saved time.
- The hardware department has moved to the new area and the 5S activities have been implemented. In order to preserve this standard order, code has been assigned to the shelves and material names, quantities have been controlled, discipline has been provided.
- Cost analysis was conducted to make all these improvements meaningful. Improvements saved.

In summary, production rate was increased as a result of the use of the conveyor system, which facilitated the transportation between the work stations. In addition, as a decision support system, a inventory tracking system was created using Excel VBA. With this VBA based system, considerable cost and time savings have been achieved. After the improvements were made, the measurements were re-taken and the results obtained were compared with the pre-improvement results. Results revealed the fact that significant efficiency improvements along with considerable cost and time savings have been achieved. In the edge banding machine alone, an increase of 64.5% in productivity and a savings of 100.242 TL was achieved in labor costs.

References

Akşit, C. (1999). Türk silahlı Kuvvetlerinde Toplam Kalite Uygulamaları-2, Ankara: Genel Kurmay Basımevi.

Antony, J., Psomas, E., Garza-Reyes, J. A., & Hines, P. (2020). Practical implications and future research agenda of lean manufacturing: a systematic literature review. Production Planning & Control, 1-37.

Atılgan A., Ulusoy H. , Tan H. & Peker H.(2017), Ahşap endüstrisinde kullanılan taşıma sistemleri, *Turkish Journal of Scientific Reviews,10(2),* 47-53

Bolat, B. (2007). İş Yeri (Fabrika) Düzenleme Stratejileri. Retrieved from:
https://web.itu.edu.tr/~bayraktarde/UYT_dosyalar/IsYeri(Fabrika)Duzenleme.ppt

Coccia, M. (2018). The Fishbone diagram to identify, systematize and analyze the sources of general purpose Technologies. *Journal of Social and Administrative Sciences*, *4*(4), 291-303.

Çelikçapa, F. (1993). Toplam Kalite Kontrolü ve Bursa Bölgesindeki Kalite Kontrol Uygulamalarına İlişkin Bir Araştırma, Busiad Yayınları, 48-49.

Gapp, R., Fisher, R. & Kobayashi, K. (2008). Implementing 5s within a japanese context: an integrated management system, *Management Decision, 46(4),* 565-579

Kahya, E. (2017). İş etüdü. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi.

Moore, J. (1962). Plant Layout and Design.New-York: Macmillan.

Özgünenç D. (2011), *Kalite problemlerinin sınıflandırılmasında çok kriterli pareto analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Tarigan, U., Cahyo, F. D., Tarigan, U. P. P., & Ginting, E. (2019, May). Facility Layout Design Through Integration of Lean Manufacturing Method and CORELAP Algorithm in Concrete Factory. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 505, No. 1, p. 012015). IOP Publishing.

Telsang, M. (2007). Industrial Engineering and Production Management.New Delhi: Chand and Company Limited.

Wilson, L. (2010). How to implement lean manufacturing.

Al-Mg-Si Alaşımın Farklı Yükler Altında Sürtünme Performansının İncelenmesi

Şenol ŞİRİN*[1,a]

[1]*Düzce Üniversitesi, Gümüşova Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, 81500, Düzce*

Öz

Al-Mg-Si alaşımları, mükemmel mukavemet, üstün aşınma direnci gibi özelliklerinden dolayı otomotiv ve havacılık başta olmak üzere endüstride yaygın olarak kullanım alanı bulmuştur. Üstün özelliklerinin yanında yüksek yüklerde ve yüksek sıcaklıklarda aşınma direnci düşüktür. Bu çalışmada Al-Mg-Si farklı yüklerdeki sürtünme katsayısı, aşınan yüzey analizi ve temas sıcaklık analizi yapılmıştır. Sürtünme testleri pin-on disk test cihazında 5 N, 10 N ve 15 N yükler altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sürtünme test yükü 5N'dan 10 N'a çıktığında sıcaklık %21,17, 15 N'a çıktığında ise %59,15 artmıştır. Al-Mg-Si alaşımın 5 N, 10 N ve 15 N yük altında elde edilen ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0,340, 0,364 ve 0,378'dir. Artan yük ile numunelerin yüzeyinde aşınmaların daha belirgin olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Al-Mg-Si Alaşımı, Sürtünme Katsayısı, Pin-on-disk, Sıcaklık

1. Giriş

Alüminyum (Al) alaşımları, havacılık ve otomotiv uygulamalarında yüksek mukavemetli ve hafif kütle yapıları için yaygın olarak kullanılmaktadır (Miller vd., 2000; Williams ve Starke, 2003; Zhang vd., 2010; Corrochano vd., 2011; Prillhofer vd., 2014; Liu vd., 2020). 6xxx serisi alaşımlar olarak belirtilen alüminyum-magnezyum-silisyum (Al-Mg-Si) orta mukavemetli ısıl işlem uygulanabilen alaşımlardır ve iyi şekillendirilebilme özelliklerine sahiptir. İşlem sertleştirme ve çökelme sertleştirme, 6xxx serisi alüminyum alaşımlarının ortak güçlendirme mekanizmalarıdır. 2xxx ve 7xxx Al alaşımları ile karşılaştırıldığında 6000 serisi Al-Mg-Si döküm alaşımları, mükemmel mukavemet ve aşınma direnci kombinasyonlarından dolayı mimari ve yapısal uygulamalarda son yıllarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Murtha, 1995; Zhang vd., 2010; Mansourinejad ve Mirzakhani, 2012). Ayrıca Al-Mg-Si alaşımları, mekanik özellikler, korozyon direnci, ekstrüde edilebilirlik ve yüzey bitirme işlemlerine mükemmel yanıtın çekici kombinasyonu nedeniyle toplam ekstrüzyon hacminin %90'ından fazlasını oluşturmaktadır (Birol, 2013). Yaygın kullanılması ve üstün özelliklerinin yanı sıra içeriğindeki Mg ile yüksek sıcaklıklarda aşınmaya karşı dirençsiz hale gelmektedir. Artan sürtünme yükleri ve temas alanı ile sürtünen temas alanlarında oluşan sıcaklıklardan olumsuz etkilenmektedir. Sürtünme esnasında temas alanında oluşan sıcaklık, numunelerin tribolojik davranışlarını etkilemektedir. Sürtünme sıcaklığı üzerine yapılan araştırmalar, tribolojik davranışların gelişiminde etkin bir rol oynar (Ying ve Yupeng, 2017). Temas halindeki katılar arasındaki gerilmelerin ve deformasyonların hesaplanması, uzun yıllardır başlı başına bir çalışma ve uzmanlaşma alanı olan temas mekaniğinin konusudur (Ludema ve Ajayi, 2018). Bu nedenle araştırmacılar bu alaşımların tribolojik özellikleriyle ilgili birçok çalışma yapmıştır. Chandrashekharaiah ve Kori, (2009) pin-on-disk test cihazı kullanılarak tanecikle rafine edilmiş veya değiştirilmiş ötektik (Al-12Si) Al-Si alaşımının kuru kayma aşınma davranışını incelemişlerdir. Al-12Si alaşımını, ticari saflıkta Al ve Al-%20 Si ana alaşımı kullanarak hazırlamışlardır. Karşılaştırma çalışması için ticari olarak temin edilebilen lm-6 (%12,5 Si) alaşımını kullanmışlardır. Al-12Si ve lm-6 alaşımlarının aşınma testlerini, ASTM G 99-90 standardına göre yapmışlardır. Malzemeye, 0-10 m/sn'lik kayma hızında 200 N yük uygulamışlardır. Aşınma test numunelerini, 25 mm uzunluğunda ve 8 mm çapında hazırlamışlardır. Yapılan aşınma testleri sonucunda, Al-12Si ve lm-6 alaşımlarının aşınma oranının, normal basınç ve kayma mesafesi arttıkça arttığını ve kayma hızındaki artışla azaldığını gözlemlemişlerdir. Mindivan vd., (2005) çalışmalarında, T6 ve RRA işlemi yapılmış, iki 7039 Al alaşım

numunesinin aşınma davranışlarını incelemişlerdir. T6 ve RRA alaşımların kayma aşınma davranışlarını, normal atmosferik koşullarda (oda sıcaklığı ve %50~60 nem) ve 30 g/l NaCl + 10 ml/l HClQ çözeltisinde, ileri geri hareket eden bir aşınma test cihazı ile incelemişlerdir. Bunları sırasıyla kuru kayma aşınması ve korozyon aşınması olarak adlandırmışlardır. Testler sırasında, numunelerin yüzeylerinde bilyenin kayma hızını toplamda 240 m kayma mesafesi için 0,02 m/sn olarak tercih ayarlamışlardır. Ayrıca tüm testler 1,5 N yük altında gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonunda RRA ile işlem görmüş alaşımın, kuru kayma aşınma direncinin, T6 numunesinden daha yüksek olduğunu, korozyon aşınma direncinde ise T6 numunesinin daha yüksek değerlere sahip olduğunu gözlemişlerdir. Basavakumar vd., (2009) çeşitli Al alaşımlarının kuru kayma şartları altında, aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Malzemeleri; Al, Al-12Si, Al-10Sr, Al-20Si, Al-1Ti-3B olarak belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçları Al malzeme ile karşılaştırmışlardır. Aşınma testlerini pin-on-disk cihazında gerçekleştirmişlerdir. Deneyler 1, 2, 3 ve 4 m/sn kayma hızında, 10, 20, 30, 40, 50, 70 ve 100 N yük altında gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında toplam kayma mesafesi 1200 m olarak hesaplanmıştır. Deneylerin sonucunda yapılan ölçümler ile aşınma davranışının esas olarak, alaşımlardaki yumuşak faz ve ötektik bileşenlerin boyutlarından etkilendiğini ifade etmişlerdir. İncelenen Al-Si alaşımları, aşınma testi sırasında plastik deformasyon ve iş sertleşmesi sergilediğini ayrıca belirtmişlerdir. Tane reçineli ve modifiye edilmiş Al 12Si-3Cu döküm alaşımları, işlenmemiş alaşımlara göre daha büyük ölçüde işlenerek sertleştirilmiştir. İşlem görmemiş alaşımlarda artan yük ile aşınma direnci azalmıştır. Tane reçineli ve modifiye alaşımlarda, daha yüksek iş sertleştirme oranları nedeniyle artan yük ile aşınma direnci artırdığını iddia etmişlerdir. Anasyida, vd., (2010) çalışmalarında, seryum (Ce) ilavesinin döküm alaşımların aşınma direnci davranışına etkisini araştırmışlardır. Ağırlıkça %1~5 seryum ilaveli Al-12Si-4-Mg alaşımlarını döküm tekniği kullanarak hazırlamışlardır. Aşınma testlerini, 1 m/sn sabit kayma hızında 10, 30 ve 50 N yükler altında bir pin-on-disk cihazında gerçekleştirmişlerdir. Araştırmacılar sonuç olarak, ağırlıkça %2'ye kadar Ce ilavesi, döküm alaşımlarının aşınma direncini ve mikro sertliğini artırdığını ifade etmişlerdir. Ancak, ağırlıkça %2 oranından fazla Ce eklenmesinin, mikro sertlikte bir düşüşe neden olarak daha düşük aşınma direnci davranışına yol açtığını gözlemişlerdir. Meyveci vd., (2010) çalışmalarında, yaşlandırılmış alüminyum AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının aşınma davranışlarını incelemiştir. AA 2024 ve AA 6063 alüminyum alaşımları, 490 ℃ ve 520 ℃'lik iki farklı sıcaklıkta çözelti işlemine tabi tutmuşlardır. Daha sonra tüm numuneleri oda sıcaklığına soğutmuşlardır. Bu işlemden sonra numuneleri, beş farklı sürede (2, 4, 6, 8 ve 10 saat) üç farklı sıcaklıkta (140 ℃, 180 ℃ ve 220 ℃) yaşlandırma işlemine tabi tutmuşlardır. Numunelere pin-on-disk cihazında 10, 20 ve 30 N değişken yükler altında, 2 m/sn hızda, 400, 800, 1200 ve 1600 m kayma mesafelerinde aşınma testi uygulamışlardır. Sonuçta, AA 2024 ve AA 6063 alaşımlarının ısıl işlem görmüş yaşlandırılmış numunelerinin sertlik değerinin yaşlandırılmamış numunelere göre daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca aşınma testlerinde kayma hızı, kayma mesafesi ve yükü artırarak aşınma miktarının da arttığını tespit etmişlerdir. Santecchia vd., (2020) bu çalışmada, AA 6082 diskleri, petek benzeri bir yapıya sahip eloksallı bir tabakaya yol açan G.H.A. olarak da adlandırılan sert eloksal işlemine tabi tutmuştur. 10, 50 ve 100 μm alümina (Al_2O_3) tabaka kalınlıklarına sahip numunelere, karşı gövde malzemesi olarak rulman çeliği ve silisyum nitrür (SiN) kullanılarak tek yönlü kuru kayma aşınma testleri yapmışlardır. Numunelerin yüzey ve yapı karakterizasyonunu, tribolojik testlerden önce ve sonra çok çeşitli teknikler kullanılarak yapmışlardır. Aşınma testlerinden önce atomik kuvvet mikroskobu ve taramalı elektron mikroskobu teknikleri kullanmışlardır. Sonuçlar, eloksallı tabakanın farklı kalınlığının gözeneklerin boyutlarını etkilemediğini, ancak gözeneklerin bölündüğü mikrometrik alanlar üzerinde bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Bu özellikler aşınma test koşulları ile birleştiğinde, aşınma davranışı üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. En ince numunenin, seramik sayaç gövdesine karşı da en iyi performans gösterdiğini iddia etmişlerdir. Sun, (2012) çalışmasında %2'ye kadar Ti içeren AA 6063 alüminyum alaşımlarının, homojenize ve ısıl işlem görmüş koşullar altında mikroyapı ve oda sıcaklığında kuru kayma aşınma performansını incelemeyi amaçlamıştır. Dökümden sonra, üretilen tüm alaşımlara 2 saat boyunca 500 ℃'de homojenleştirici ısıl işlem uygulamıştır. Isıl işlemi su verme işlemi ve daha sonra dört saatlik aralıklarla 48 saate kadar, 150 ℃'de bir yaşlandırma işlemi takip etmiştir. Numunelerin aşınma işlemini ise ball-on-disk test cihazında gerçekleştirmiştir. Aşınma testlerinin sonuçlarına göre, Ti içeren alaşımlarda aşınma oranının azaldığını gözlemiştir. Yaşlandırma ısıl işlemi, Ti içermeyen alaşımların aşınma direncini arttırsa da Ti içeren alaşımların her birinin aşınma direncini azaltmıştır. Al-Mg-Si alaşımların endüstride birçok alanda yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca aşınmaya maruz

kaldığından dolayı aşınma direncini geliştirmeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Fakat yapılan çalışmaların bu alaşımların tribolojik davranışlarını tam olarak açıklayamadığı görülmektedir. Temas yüzeylerine oluşan ısının alaşımların tribolojik özelliklerine etki ettiği bilinmektedir. Fakat bu konuda yapılan çalışmalar sınırlı düzeyde kalmıştır.

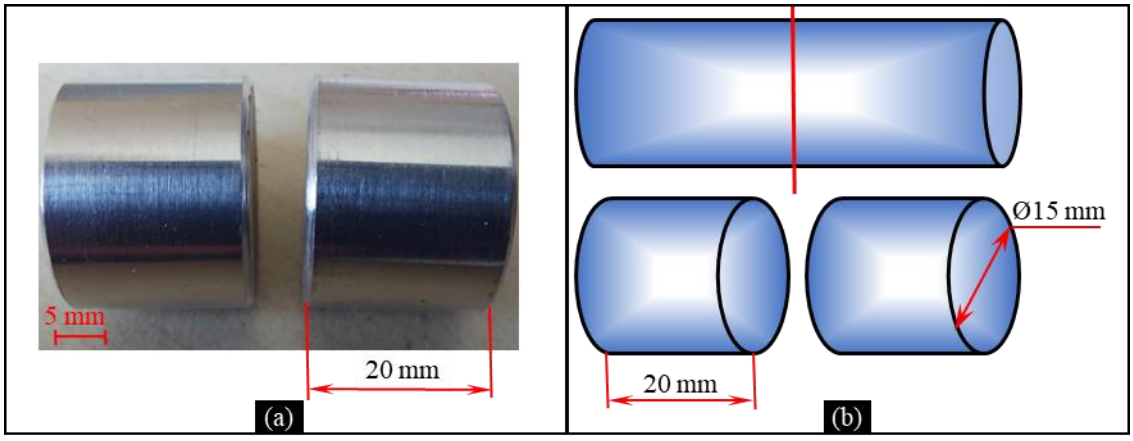
Bu çalışmada Al-Mg-Si alaşımın farklı yüklerdeki tribolojik özellikleri araştırılmıştır. Sürtünme testleri pin-on disk test cihazında 5, 10 ve 15 N yükler altında gerçekleştirilmiştir. Test esnasında oluşan sıcaklıklar kızılötesi (infrared) termal kamera ile ölçülmüşüdür. Farklı yüklerde oluşan sürtünme katsayısı, sıcaklık oluşumu ve aşınan yüzey analizleri yapılmıştır. Test esnasında temas yüzeylerinde oluşan sıcaklıklar anlık olarak ölçülerek yüklerin sıcaklık oluşumu ve aşınma performansına etkisine farklı bir yaklaşım sunulmuştur.

2. Materyal ve Metot

Al-Mg-Si (Al 6110- A T6) alaşımın pin- on disk test cihazı ile sürtünme performansı araştırılmıştır. Disk olarak 58 HRC sertliğindeki AISI D2 soğuk iş takım çeliği kullanılmıştır. Disk yüzeyleri taşlama tezgâhında taşlanarak yüzeylerin paralelliği sağlanmıştır. Deneyler 5 N, 10 N ve 15 N yükler altında, 4 Hz örnekleme frekansında ve 550 dev/dak hızında gerçekleştirilmiştir. İş parçaları disk üzerinde 50 mm iz çapı olacak şekilde konumlandırılmıştır. Deneysel ölçümler alt başlıklarda detaylandırılmıştır.

2.1. İş Parçası Numunesi

Al-Mg-Si alaşımın sürtünme performansını araştırmak üzere ticari halde çubuk parçalar temin edilmiştir. 15 mm çapındaki malzemelerden eşit 20 mm mesafede iş parçaları kesilerek alın yüzeyleri torna tezgâhında tornalanmıştır. İş parçası detayı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 5. İş parçası; **(a)** Görseli, **(b)** İş parçası boyutları

Al-Mg-Si alaşıma ait kimyasal içerik Tablo 1'de ve mekanik özellikleri ise Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 4. Deneylerde kullanılan Al-Mg-Si alaşıma ait kimyasal içerik (% ağırlıkça)

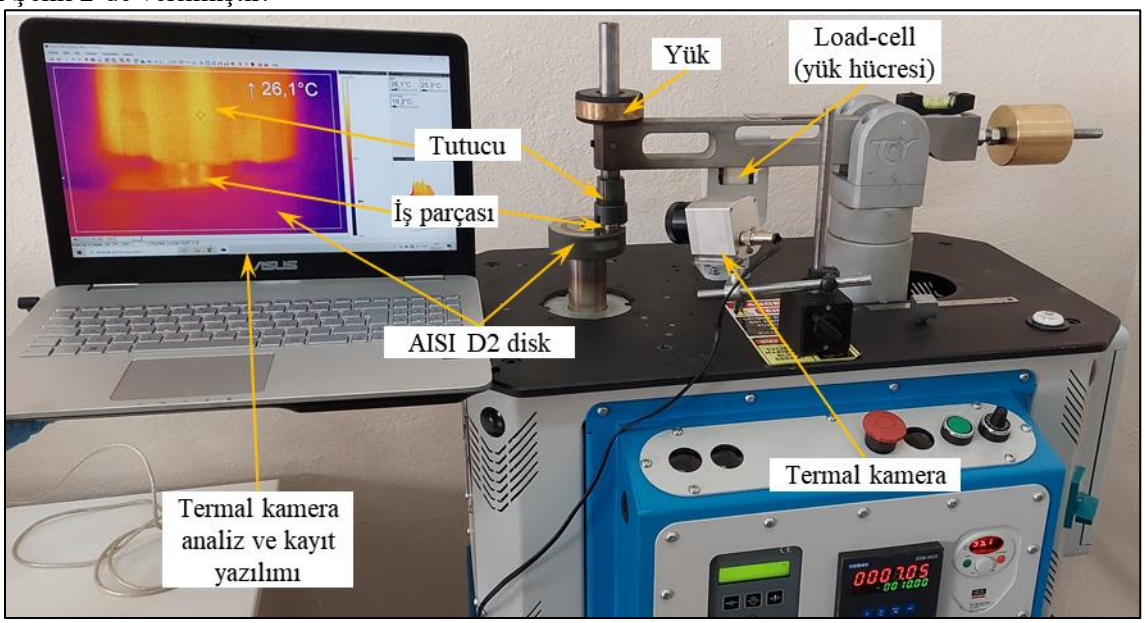
Malzeme	Al	Cr	Cu	Mg	Ti	Si	Mn	Fe	Zr	Zn
Al 6110 A T6	96,35	0,15	0,55	0,9	0,1	0,9	0,65	0,2	0,1	0,1

Tablo 5. Al-Mg-Si alaşımın mekanik özellikleri

Elastik Modülü (GPa)	**Uzama** (%)	**Yorulma Dayanımı** (MPa)	**Poisson Oranı**	**Kayma Modülü** (GPa)	**Çekme Dayanımı** (MPa)	**Termal Genleşme** (µm/m-K)
70	11	140	0,33	26	280	23

2.2. Sürtünme Testi

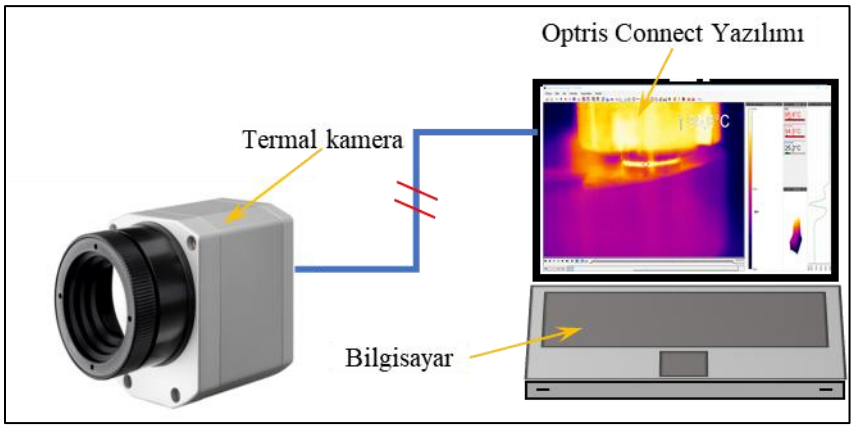
Al-Mg-Si alüminyum alaşımın farklı yükler altında sürtünme performansının incelenmesinde Turkyus marka pin-on-disk cihazı kullanılmıştır. Deneyler öncesi her bir iş parçası yüzeyleri ER-25 takım tutucuyla disk üzerine paralel şekilde konumlandırılması dikkatli şekilde yapılmıştır. Deneyler öncesinde load-cell (yük hücresi) kalibrasyonu yapılarak elde edilen verilen doğruluğu sağlanmıştır. Deneyler ayrıca 3 (üç) tekrar yapılarak elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Pim-disk sürtünme cihazına ait deney seti Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 6. Sürtünme katsayısı deney seti

2.3. Sıcaklık Ölçümü

Sürtünme katsayısı deneyleri esnasında sıcaklığının ölçülmesinde -20~900 ℃ ölçüm aralığına sahip OPTRIS marka PI 450 model kızılötesi (infrared) termal kamera kullanılmıştır. Sıcaklık ölçümünde termal kamera iş parçası yüzeyine 100 mm mesafede ve 10° açıda konumlandırılmıştır. Termal kamera kullanılarak gerçekleştirilen sıcaklık ölçümlerinde emisivite değeri önem taşımaktadır. Al 6110 A T6 için infrared termal kamera üreticisinin tavsiye ettiği 0,2 emisivite değeri alınmıştır. Optris Connect adlı yazılım programıyla oluşan sıcaklık online olarak görüntülenerek, deneyin 6. ve 8. dakikaları arasında kayıt altına alınmıştır. Kayıt altına alınan süreler içinde elde edilen azami sıcaklık değerleri dikkate alınmıştır. Sıcaklık ölçümünde kullanılan termal kamera Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 7. Sıcaklık ölçümünde kullanılan termal kamera

2.4. Aşınan Yüzeylerin Analizi

Deneyler sonrası Al-Mg-Si alaşımın temas eden yüzeylerindeki aşınma izlerinin ve mekanizmalarının tespit edilmesinde Dino Lite AM AM7915MZT dijital mikroskop kullanılmıştır. Dijital mikroskopa Şekil 4'te verilmiştir.

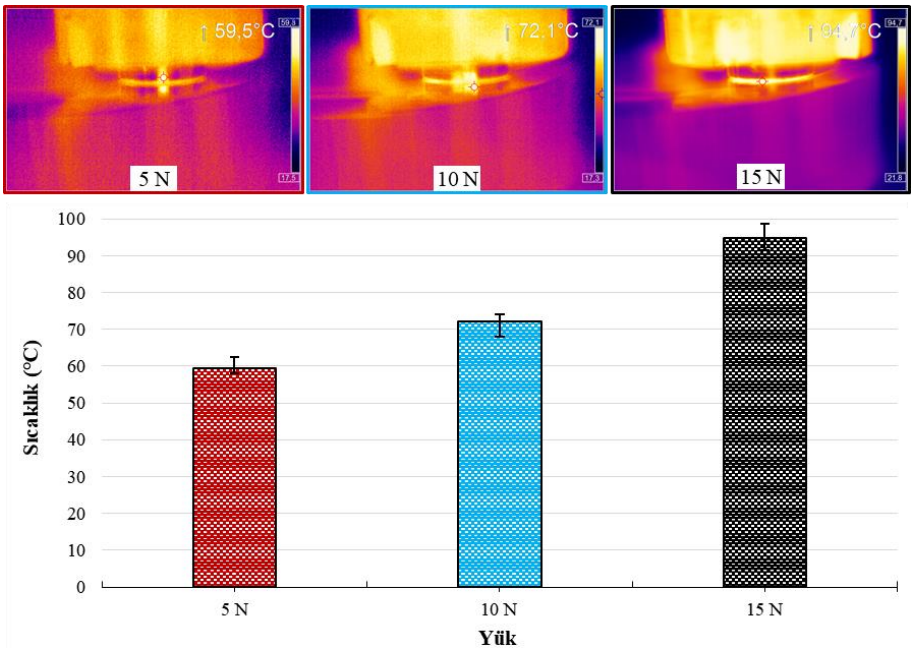


Şekil 8. Aşınma yüzeylerinin tespitinde kullanılan dijital mikroskop

3. Deneysel Sonuçlar

3.1. Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

Al-Mg-Si alaşımın sürtünme testi esnasında 5, 10 ve 15N yük altında oluşan sürtünme sıcaklığı ölçüm sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

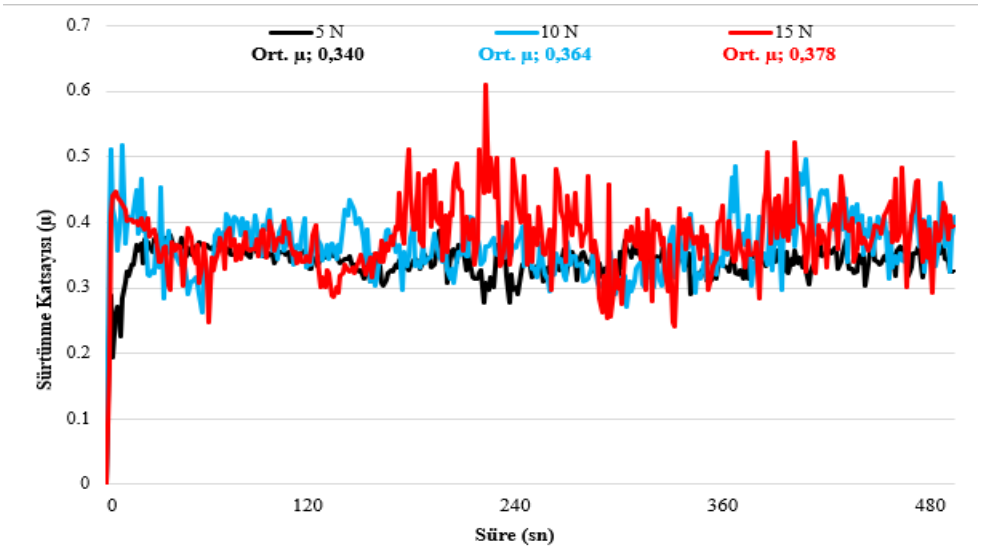


Şekil 9. Sürtünme testi esnasında 5, 10 ve 15N yük altında oluşan sürtünme sıcaklığı ölçüm sonuçları

5, 10 ve 15 N yük altında gerçekleştirilen sürtünme testlerinde oluşan ısıların yüklere göre değiştiği gözlemlenmektedir. Test yükü arttıkça temas yüzeyinde oluşan sıcaklık ta artmaktadır. Sürtünme testi esnasında 5, 10 ve 15 N yük altında elde edilen temas yüzeyi sıcaklıkları sırasıyla 59,5-72,1 ve 94,7 C°'dir. Sürtünme test yükü 5 N'dan 10 N'a çıktığında sıcaklık %21,17, 15 N'a çıktığında ise %59,15 artmıştır.

3.2. Sürtünme Katsayısı Sonuçları

Al-Mg-Si alaşımının 5, 10 ve 15 N yük altında elde edilen ortalama sürtünme katsayısı sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.



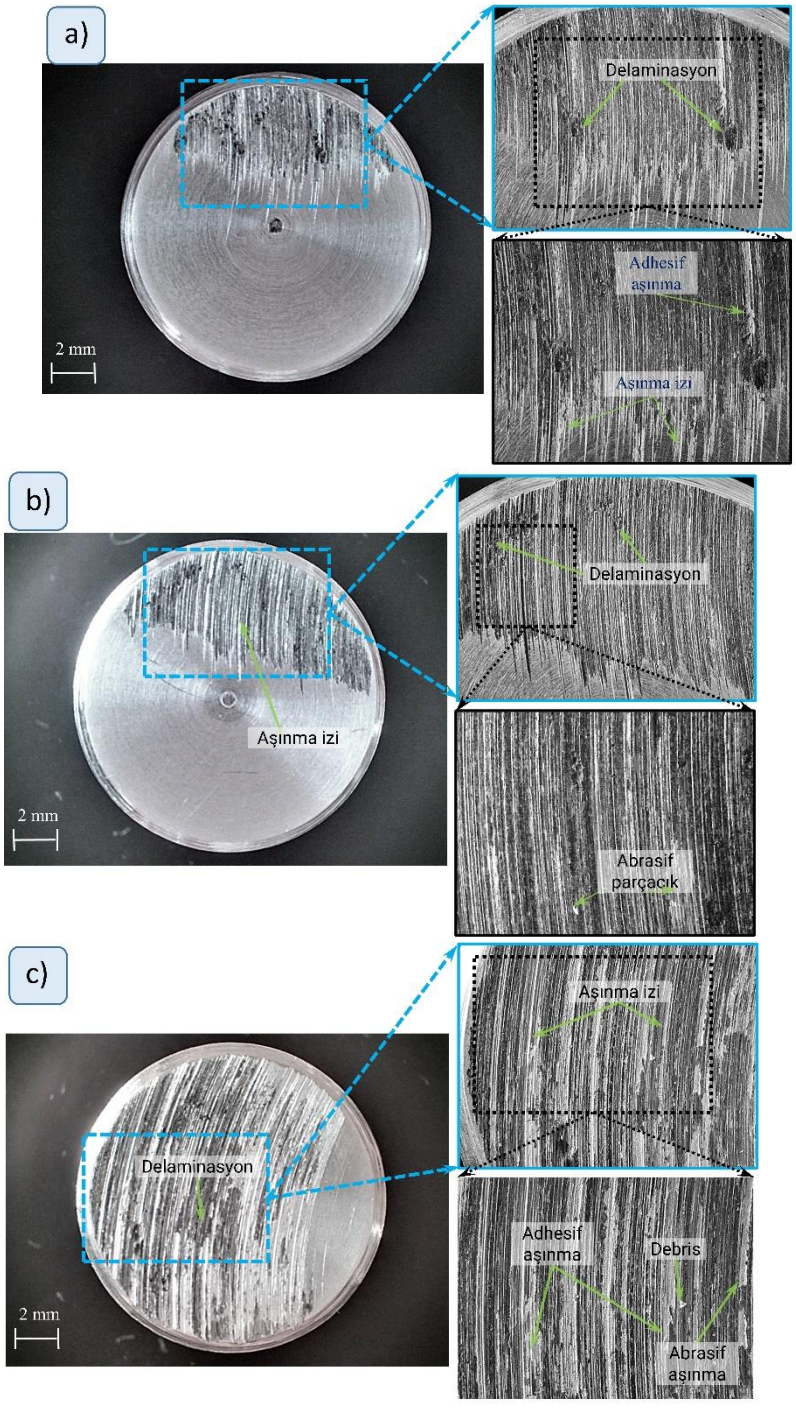
Şekil 10. Al-Mg-Si alaşımın 5, 10 ve 15 N yük altında elde edilen ortalama sürtünme katsayısı sonuçları

Al-Mg-Si alaşımın 5, 10 ve 15 N yük altında elde edilen ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0,340-0,364 ve 0,378'dir. Test yükü arttığında sürtünme katsayısında az miktarda artış olmuştur. Uygulanan yük ile artan yüzey sıcaklığı numunenin disk yüzeyine yapışmasını arttırabilir. Artan yapışma yüzeylerin aşınmasını etkileyerek yüzeyin bozulmasına yol açabilir. Yüzeyin bozulması ise sürtünme kuvvetini

artırarak sürtünme katsayısının artmasına neden olabilir (Ludema ve Ajayi, 2018). Benzer durum yapılan bu çalışmada da görülmüş olup, yüzeylerin bozulmasıyla (Şekil 7) sürtünme katsayısının da arttığı tespit edilmiştir.

3.3. Aşınan Yüzeylerin Analizi

Farklı yüklerde gerçekleştirilen sürtünme testleri esnasında numunelerde oluşan aşınma izleri incelenmiştir. Aşınan yüzeylerin görüntüleri aşınma mekanizmaları hakkında bilgi vermektedir. Aşınma görüntüleri incelenerek farklı yüklerin numunelerin aşınma davranışlarına etkisi belirlenmek istenmiştir. Al-Mg-Si alaşımın 5, 10 ve 15 N yük altında gerçekleştirilen sürtünme testi esnasında oluşan yüzey aşınma görüntüleri Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 11. Al-Mg-Si alaşımın farklı yüklerde gerçekleşen sürtünme testi sonucunda oluşan yüzey aşınma görüntüleri, **(a)** 5 N yük, **(b)** 10 N yük ve **(c)** 15 N yük

Al-Mg-Si alaşımın farklı yüklerde gerçekleşen sürtünme testi sonucunda oluşan yüzey aşınma görüntüleri incelendiğinde sürtünme test yükü arttıkça numunelerin daha fazla aşındığı görülmektedir (Meyveci vd., 2010). Yük arttıkça sürtünme katsayısı (Şekil 6) ve temas yüzey sıcaklığı (Şekil 5) artmıştır. Bu sonuçlar Şekil 7'de yer alan aşınan yüzey görüntüleriyle de paralellik göstermiştir. Şekil 7 incelendiğinde, tüm aşınmış yüzeyler, tipik kayma aşınması karakteristiği sağlayan, birbirine paralel uzanan farklı olukların olduğu görülmektedir. Test edilen tüm numunelerin aşınmış yüzeylerinde gözlemlenen derin çizikler, iş parçasından çıkarılan ve temas yüzeyine yerleştirilen karşı yüzün veya ayrılan parçacıkların sert pürüzlerinden kaynaklanabilir (Kumar vd., 2013). Ayrıca aşınan yüzeylerde yapışmaların olduğu gözlemlenmektedir. Bu yapışmaların artan sürtünme sıcaklığından olduğu söylenebilir (Şekil 5). Yapışan parçacıkların kopmasıyla yüzeylerde döküntü ve delaminasyon oluşumları görülebilmektedir (Qin vd., 2008). Al-Mg-Si alaşımlarıyla ilgili yapılan birçok çalışmada benzer sonuçların oluştuğu görülmektedir. Artan ısı ile Mg içeriğinin yumuşadığı ve numunelerde yapışmaların olduğu ve böylece yüzeylerde deformasyonların arttığı ifade edilmiştir. Lim, vd., (2003), Al alaşımının sürtünme testinde temas yüzeyleri arasında malzeme transferi oluştuğunu gözlemlemişlerdir. Araştırmacılar yapılan gözlemler neticesinde, kayan ara yüzeyde sürtünmenin etkisiyle oluşan sıcaklığın neden olduğu matris malzemesinin yumuşaması ve erimesi ile ilişkili olduğunu açıkladılar. Normal uygulanan yük belirli kritik eşiklere ulaştığında, temas eden pürüzlerdeki ani sıcaklıklar matris alaşımının erime noktasını aşabilir. Böylece yığın sıcaklığını artırdığını ve Mg alaşımının kademeli olarak yumuşamasına neden olduğunu tespit ettiler. Devam eden sürtünme veya yükün artışı, sıcaklıkları daha da yükselterek, Mg-Al alaşımlarının daha düşük termal stabilitesine bağlı olarak erimeye yol açtığı sonucuna varılabilir. Aşınma durumlarında sürtünme ve histeretik ısınma, termal olarak yumuşatılmış katmanların veya bölgelerin oluşmasına, erime, yüzeyin termal döngüsüne, termal yığılma gibi lokalize genleşme bölgelerine ve buharlaşmaya neden olabilir. Bu olaylardan herhangi birinin meydana gelme derecesi aşınmayı da etkileyebilir (Ludema ve Ajayi, 2018). Kumar vd., (2013) ise malzemenin yük taşıma kapasitesi, birim yük başına aşınma oranı olarak tanımlanan spesifik aşınma oranı ile temsil edildiğini açıkladılar. Genel olarak, sabit kayma mesafesi altında, özgül aşınma oranı, normal yük ile ters orantılıdır. Yükün artmasıyla birlikte, saf Mg'da termal yumuşama ve eritme yoluyla şiddetli aşınmanın meydana geldiği ifade edilmiştir. Araştırmacılar, bunun nedenini, aşınan yüzeyler arasındaki sıcaklığının artması ve Mg numunesinin yüksek düzeyde ısıl yumuşamasına ve erimesine yol açmasıyla açıkladılar. Buna ek olarak, çıkarılan aşınma artıklarının yanı sıra aşınma yüzeyindeki pürüzlerin termal olarak yumuşadığını ve aşınma yüzeyleri arasında yayıldığını tespit ettiler. Böylece oluşan döküntü, plastik olarak deformasyona uğramış numune yüzeyleri ile birleşerek aşınma yolu üzerinde yarı katı tipte bir metal yapışan metalin oluştuğunu bulduklarını ifade ettiler. Zhang ve Alpas, (1993) Al-Mg2Si alaşımın kuru koşullarda pin-on disk cihazı ile aşınma davranışlarını incelemişlerdir. Deneylerin sonucunda temas

yüzeylerinin altında plastik deformasyonun sünek malzemelerin kayma aşınmasında önemli rol oynadığını bildirdiler. Kuru kayma aşınma koşullarında, kayma mesafesi ve uygulanan yük yüzünden artan plastik deformasyonların yüzeylerde oluşan aşınma izlerinin derinliğini artırmıştır. Deforme bölgelerdeki akış gerilimi ve plastik gerilmelerin, bir Voce tipi kurucu denklem şeklinde ifade edilebilen bir iş sertleştirme yasasına uyduğunu bildirdiler. Benzer durum, yapılan sürtünme performans testleri sonucunda Al-Mg-Si alaşım malzemelerinde de görülmüştür. Kuru kayma koşullarında 15 N yük altında elde edilen (Şekil 7-c) aşınan yüzey alanı 10 N (Şekil 7-b) ve 5 N (Şekil 7-a) yük altında elde edilen aşınan yüzey alanlarından daha yüksek mertebede gerçekleşmiştir. Artan yüke bağlı olarak temas yüzeylerinde plastik deformasyonun daha fazla oluştuğu sonucuna varılabilir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Al-Mg-Si alaşımın pin-on-disk test cihazı ile 5, 10 ve 15 N yükler altında, 4 Hz örnekleme frekansında ve 550 dev/dak hızında gerçekleştirilen testler sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmişidir.

- Sürtünme testi esnasında 5, 10 ve 15 N yük altında elde edilen temas yüzeyi sıcaklıkları sırasıyla 59,5-72,1 ve 94,7 C°'dir. Test yükü 5 N'dan 10 N'a çıktığında sıcaklık değeri %21,17, 15 N'a çıktığında ise %59,15 oranında artış göstermiştir.
- Al-Mg-Si alaşımın 5, 10 ve 15N yük altında elde edilen ortalama sürtünme katsayıları sırasıyla 0,340, 0,364 ve 0,378'dir. Test yükü arttığında sürtünme katsayısında az miktarda artışlar olmuştur.
- Yük arttıkça sürtünme katsayısı ve temas yüzey sıcaklığı da artmıştır. Artan yük ile numunelerin yüzeyinde aşınmaların daha belirgin olduğu görülmüştür. Yüzeylerde adhesiv aşınma mekanizmasının etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Gelecekteki çalışmalarda Al-Mg-Si alaşımın aşınma direncini arttırmak için numunelere farklı ısıl işlemler uygulanabilir.

Kaynaklar

Anasyida, A. S., Daud, A. R. and Ghazali, M. J. (2010). Dry sliding wear behaviour of Al–12Si–4Mg alloy with cerium addition. *Materials Design, 31(1),* 365–374. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2009.06.007

Basavakumar, K. G., Mukunda, P. G. and Chakraborty, M. (2009). Dry sliding wear behaviour of Al–12Si and Al–12Si–3Cu cast alloys. *Materials Design, 30(4),* 1258–1267. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.07.003

Birol, Y. (2013). Precipitation during homogenization cooling in AlMgSi alloys. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 23(7),* 1875–1881. https://doi.org/10.1016/S1003-6326(13)62672-2

Chandrashekharaiah, T. M. and Kori, S. A. (2009). Effect of grain refinement and modification on the dry sliding wear behaviour of eutectic Al–Si alloys. *Tribology International, 42(1),* 59–65. https://doi.org/10.1016/j.triboint.2008.05.012

Corrochano, J., Walker, J. C., Lieblich, M., Ibáñez, J. and Rainforth, W. M. (2011). Dry sliding wear behaviour of powder metallurgy Al–Mg–Si alloy-MoSi2 composites and the relationship with the microstructure. *Wear, 270(9–10),* 658–665. https://doi.org/10.1016/j.wear.2011.01.029

Kumar, K. K. A., Pillai, U. T. S., Pai, B. C. and Chakraborty, M. (2013). Dry sliding wear behaviour of Mg–Si alloys. *Wear, 303(1–2),* 56–64. https://doi.org/10.1016/j.wear.2013.02.020

Lim, C. Y. H., Lim, S. C. and Gupta, M. (2003). Wear behaviour of SiCp-reinforced magnesium matrix composites. *Wear, 255(1–6),* 629–637. https://doi.org/10.1016/S0043-1648(03)00121-2

Liu, M., Chen, J., Lin, Y., Xue, Z., Roven, H. J. and Skaret, P. C. (2020). Microstructure, mechanical properties and wear resistance of an Al–Mg–Si alloy produced by equal channel angular pressing. *Progress in Natural Science: Materials International, 30(4),* 485–493. https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2020.07.005

Ludema, K. C. and Ajayi, L. (2018). *Friction, wear, lubrication: a textbook in tribology* (2nd ed.). London: CRC press.

Mansourinejad, M. and Mirzakhani, B. (2012). Influence of sequence of cold working and aging treatment on mechanical behaviour of 6061 aluminum alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 22(9),* 2072–2079. https://doi.org/10.1016/S1003-6326(11)61430-1

Meyveci, A., Karacan, İ., Çalıgülü, U. and Durmuş, H. (2010). Pin-on-disc characterization of 2xxx and 6xxx aluminium alloys aged by precipitation age hardening. *Journal of Alloys and Compounds, 491(1–2),* 278–283. https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2009.10.142

Miller, W. S., Zhuang, L., Bottema, J., Wittebrood, A., De Smet, P., Haszler, A. and Vieregge, A. (2000). Recent development in aluminium alloys for the automotive industry. *Materials Science and Engineering: A, 280(1),* 37–49. https://doi.org/10.1016/S0921-5093(99)00653-X

Mindivan, H., Baydogan, M., Kayali, E. S. and Cimenoglu, H. (2005). Wear behaviour of 7039 aluminum alloy. *Materials Characterization, 54(3),* 263–269. https://doi.org/10.1016/j.matchar.2004.12.004

Murtha, S. J. (1995). New 6XXX aluminum alloy for automotive body sheet applications. *SAE transactions,* 657–666.

Prillhofer, R., Rank, G., Berneder, J., Antrekowitsch, H., Uggowitzer, P. J. and Pogatscher, S. (2014). Property criteria for automotive Al-Mg-Si sheet alloys. *Materials, 7(7),* 5047–5068. https://doi.org/10.3390/ma7075047

Qin, Q. D., Zhao, Y. G. and Zhou, W. (2008). Dry sliding wear behavior of Mg2Si/Al composites against automobile friction material. *Wear, 264(7–8),* 654–661. https://doi.org/10.1016/j.wear.2007.05.008

Santecchia, E., Cabibbo, M., Hamouda, A. M. S., Musharavati, F., Popelka, A. and Spigarelli, S. (2020). Dry sliding tribological properties of a hard anodized aa6082 aluminum alloy. *Metals, 10(2),* 207. https://doi.org/10.3390/met10020207

Sun, Y. (2012). Wear Behaviors of AA 6063 Aluminum Alloys Reinforced with in situ Al 3Ti Particles. *Tribology Transactions, 55(2),* 224–229. https://doi.org/10.1080/10402004.2011.647384

Williams, J. C. and Starke, E. A. (2003). Progress in structural materials for aerospace systems. *Acta Materialia, 51(19),* 5775–5799. https://doi.org/10.1016/j.actamat.2003.08.023

Ying, S. and Yupeng, Y. (2017). Temperature field analysis of pin-on-disk sliding friction test. *International Journal of Heat and Mass Transfer, 107,* 339–346. https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.11.047

Zhang, J. and Alpas, A. T. (1993). Delamination wear in ductile materials containing second phase particles. *Materials Science and Engineering: A, 160(1),* 25–35. https://doi.org/10.1016/0921-5093(93)90494-Y

Zhang, X. H., Su, G. C., Ju, C. W., Wang, W. C. and Yan, W. L. (2010). Effect of modification treatment on the microstructure and mechanical properties of Al–0.35% Mg–7.0% Si cast alloy. *Materials & Design, 31(9),* 4408–4413. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2010.04.032

Soğuk Punta Birleştirme Yöntemi

Samet SERDAR[*1], Zeki AZAKLI[1]

[1]Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı,29100, Gümüşhane

Özet

Soğuk punta yöntemi; kalınlıkları 0,1 ile 10 mm arası olan iki levhanın arada bir bağlantı elemanı olmadan soğuk deformasyonla birbiri ile birleştirme yöntemidir. Bu yöntem hidropnömatik bir güç sistemi ile yapılmaktadır. Sistem iki çene arasında yerleştirilen sac levhaların hidropnömatik sistem yardımıyla 3,5 ile 8 ton arası bir kuvvetle birleştirilmesidir.

Soğuk şekillendirilebilirliği olan malzemelerin bu yöntemle birleştirilmesi oldukça kolay ve dayanaklı bir sonuç vermektedir. Birleştirme yöntemleri; vida birleştirme, perçin birleştirme, punta kaynağı gibi birçok geleneksel birleştirme yönteminin dezavantajlarını ortadan kaldıran ve onlara kıyasla daha iyi sonuçlar veren bir tekniktir.

Anahtar Kelimeler: Birleştirme Yöntemleri Avantajları, Sac Birleştirme Yöntemleri, Soğuk punta

Clinching Joining Method

Abstract

Clinching method; It is a method of joining two plates with a thickness between 0,1 and 10 mm by cold deformation without a connecting element in between. This method is done with a hydropneumatic power system. The system is the joining of metal sheets placed between two jaws with the help of a hydropneumatic system with a force of 3.5 to 8 tons.

Joining cold-formable materials with this method gives a very easy and durable result. Joining methods; It is a technique that eliminates the disadvantages of many traditional joining methods such as screw joining, rivet joining, spot welding and gives better results compared to them.

Keywords: Joining methods advantages, Sheet joining methods, Clinching

1. Giriş

Teknolojik gelişmeler ve yenilikçi arayışlar, yeni üretim tekniklerinin ortaya çıkmasını sağlamış, üretim teknolojilerinde ve malzeme seçimindeki çeşitlilik, mekanik bağlantıların yapılmasında alışılmadık problemlere neden olmaya başlamıştır. Bu problemleri çözmek ve bağlantıları daha da kolaylaştırmak için yeni birleştirme yöntemleri üzerinde çalışmalar devam etmektedir. Bununla birlikte son yıllarda hafif yapı stratejileri, ekonomik nedenler ve çevre koruması açısından giderek daha önemli bir hale gelmiştir. Değişik malzemeler bir arada kullanılarak yapıların ağırlığı azaltılmak istenmiş, fakat farklı türdeki malzemelerin montajı her zaman sorun olmuştur. Vazgeçilmez birleştirme tekniklerinden ve sektörün ayrılmaz bir parçası olan kaynak yöntemi, bu tip bağlantılarda yetersiz kalmaya başlamıştır. Soğuk punta yöntemi ise bütün bu sorunları ortadan kaldırmak için geliştirilen uygun bir tekniktir.

Soğuk punta yöntemi; herhangi bir ilave malzeme kullanmaksızın bağlanması istenen iki yada ikiden çok sac levhanın bölgesel bir deformasyona uğratılarak birleştirmesi işlemidir. Bu teknoloji yeni bir yöntem değildir, ilk patenti 1897 gibi erken bir tarihte Almanya'da alınmıştır. Ancak seksenli yıllara kadar endüstride kullanılmamıştır (Varis and Lenisto 2003). Günümüzde otomotiv endüstrisinde özellikle de araç gövdelerinin bazı kısımlarında, ev eşyalarında, bilgisayar endüstrisinde, havalandırma ve iklimlendirme sistemlerinde kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır.
Soğuk punta yöntemiyle yapılan birleştirmeleri etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Çetkin (2010)'e göre, oldukça fazla faktöre bağlı olan birleştirme özelliklerinin yalnızca birkaç kritere bağlı olarak değerlendirilmesi doğru değildir. Çetkin (2010), bağlantıların mekanik özelliklerini incelemek için yaptığı çalışmasında, yalnızca tek tip yuvarlak formlu takım kullanmış ve değişik formlardaki takımlarla ve kalıp şekilleriyle yapılan birleştirmelerdeki değişen bağlantı özelliklerinin incelenmesini önermiştir. Varis (2003) ile Oudjene ve Ben-Ayed (2008) ise birleşmelerde takım geometrisinin ve kalıp şeklinin önemini araştırmış, dairesel formlu birleşmelerin daha iyi olduğunu belirlemişlerdir.

Yurtdışında bu konu ile ilgilenen birçok firma olmasına rağmen, ülkemizde bu yöntemi kullanan firma sayısı oldukça azdır. Diğer birleştirme yöntemlerine göre daha sessiz, daha az maliyetli, ısı, koku, duman, gaz gibi faktörleri içermemesi, farklı malzemelerin birleştirilmesinde kullanılabilirliği bu yöntemin en önemli özelliklerindendir. Günümüzde birçok sektörde seri üretimin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Soğuk punta yöntemi de vidalama ve perçinleme gibi yöntemlere göre çok daha seri ve hızlıdır. Bu tekniğin ülkemizde de tanınıp, üretimde daha çok yer alması amacıyla, bu yöntem üzerine bir çalışma yapılmasına karar verilmiştir.

2. Materyal ve Metod

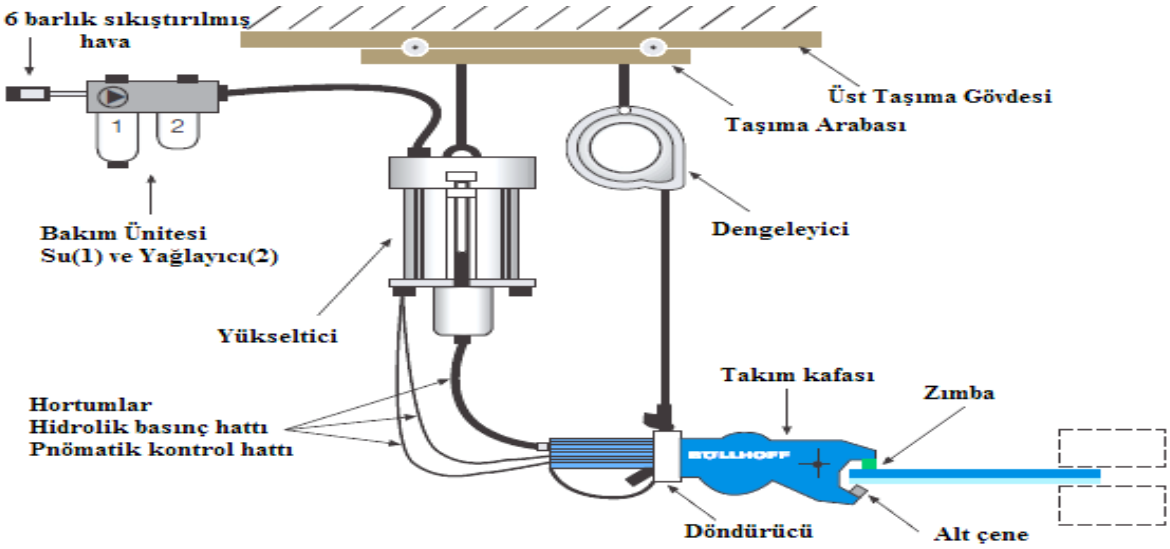
2.1. Malzeme Seçimi

Otomotiv sektörünün geliştirilmiş korozyon direnci ve boya adhezyonu gereksinimlerini en üst düzeyde karşılayan ürünler galvanize ürünlerdir. Otomotiv endüstrisindeki kullanımı da özellikle son yıllarda çok artmıştır. Günümüzde taşıt üreticileri iç ve dış yüzeyde parça üretimlerinde galvanize saclar tercih ederek, ürettikleri korozyona karşı dayanımları konusunda güvence verebilmektedir. Deneylerde seçilecek malzemeler otomotiv sektöründe yoğun olarak kullanılan galvanizli sac malzemelerden (Erdemir-1314 ve Erdemir-1312) seçilmiştir (İnt.Kyn.1).

Alüminyum ve alüminyum alaşımları ise çelikten sonra en çok tercih edilen endüstriyel malzemeler konumuna gelmişlerdir. Bu gelişme ışığında günümüzde arabalarda çeşitli alüminyum malzemeler kullanılmaktadır. Alüminyumdan üretilmiş parçalar, aracın ağırlığının yaklaşık %6'sını kapsar hale gelmiştir. Otomotiv sektöründe bu yüzde gün geçtikçe artmaktadır.

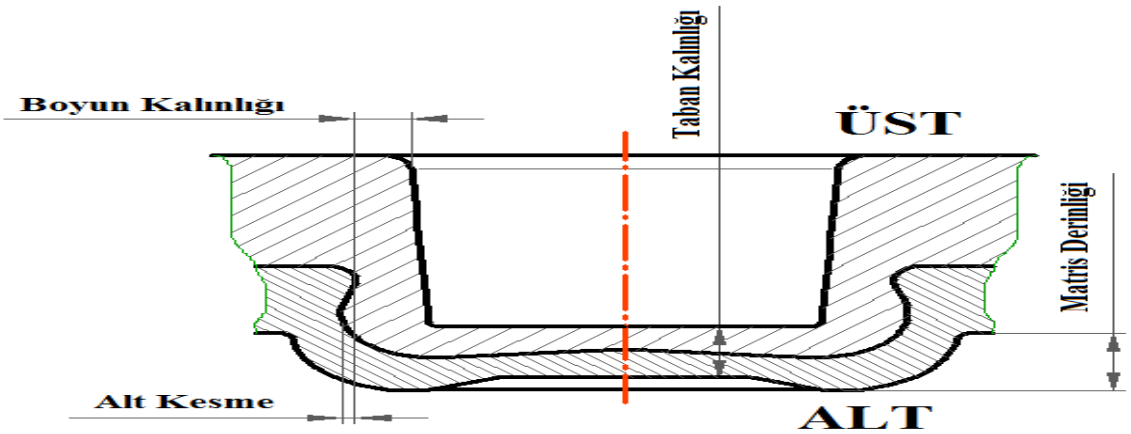
2.2. Malzemelerin Birleştirilmesi

Soğuk punta, mekanik bağlantı ile iki sac metalin bir alanda deformasyona uğratılması ile oluşan bir birleştirme yöntemi olduğundan malzeme birleştirme işleminin yapıldığı makinede oldukça basittir. Birleştirmeler bir kalıp, bir zımba ve bir baskı plakasından oluşan basit malzemelerle yapılır. Soğuk punta makinesi birleştirme yapabilmesi için havaya ihtiyaç vardır. Yeterli hava sağlandıktan sonra hidropnömatik sistem yardımıyla bir tarafı sabitlenmesi için kalıbın içine yerleştirilen birleştirilecek malzemenin diğer tarafı da makinenin zımba ve çene kısmına yerleştirilecek hidropnömatik sistem ile birleştirme gerçekleştirilir.



Şekil.1 Soğuk punta yöntemi şematik gösterimi

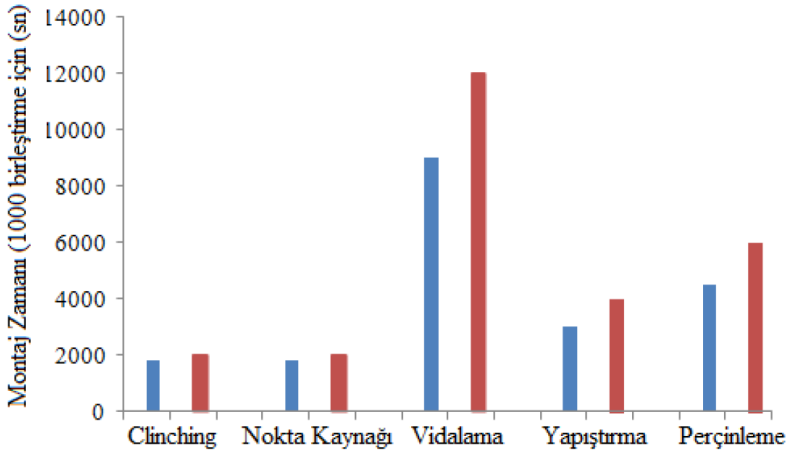
Geleneksel birleştirme yöntemlerindeki gibi (örneğin; perçin, lehim, vida, punta kaynağı) ilave malzemeler eklemeden sac levhaların soğuk deformasyonunu içerir. Geleneksel yöntemlerdeki gibi önceden delik delme, yardımcı malzeme ya da ilave elemanlara ihtiyaç yoktur. Soğuk punta yöntemi 0,1 mm ile 10 mm arasındaki kalınlıklardaki yumuşak sac metaller birleştirilebilir. Genelde iki levhanın birleştirilmesinde kullanılmasına rağmen esas olarak sac kalınlığı 3 mm'den daha az olan malzemelerin birleştirilmesine yöneliktir işlemler yapılmaktadır. Birleştirme işleminden sonra malzemelerin görünümü Şekil.2'de görülmektedir. (Hülya Kaya 2012) Burada malzemelerin birleşmesi ve deformasyona uğrayan bölgelerdeki değişim diğer birleştirme yöntemlerine göre daha basit ve daha az maliyetlidir.



Şekil.2 Soğuk punta ile birleştirilmiş parça kesiti

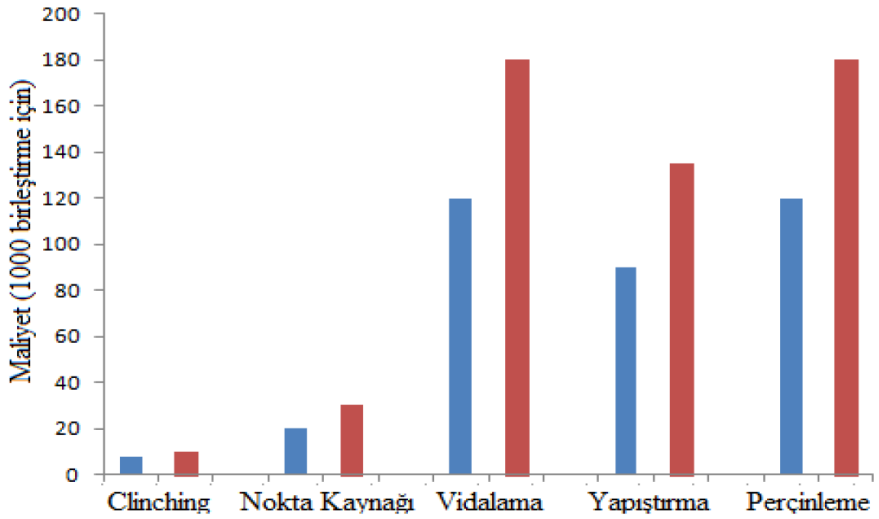
3.Bulgular

Geleneksel birleştirme yöntemleri ile soğuk punta yöntemi arasında, çeşitli konulara göre karşılaştırmalar yapılmıştır. Rimašauskas and Bargelis (2005)'de yaptıkları çalışmada soğuk punta birleştirme yöntemi ile vidalı birleştirme, yapıştırma, perçinli birleştirme ve nokta kaynaklı birleştirme yöntemlerini montaj zamanı ve montaj maliyeti bakımından karşılaştırmıştır. Minimum montaj zamanı soğuk punta (clinching) yöntemi ile nokta kaynak yönteminde ortaya çıkmıştır.(Şekil 3). Bu veride soğuk punta yönteminin zaman olarak nasıl tasarruf edildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil.3 Değişik birleştirme yöntemlerinin montaj zamanı açısından değerlendirilmesi (Rimašauskas and Bargelis 2005)

Montaj maliyeti olarak karşılaştırma yapıldığında da soğuk punta yöntemi diğer yöntemlere göre en az maliyetle birleştirme işlemini gerçekleştiren yöntem olarak gözükmektedir.(Şekil 4). Bu grafiklerden anlaşılacağı üzere soğuk punta yöntemi zaman ve maliyet açısından oldukça avantajlı bir yöntemdir.



Şekil.4 Değişik birleştirme yöntemlerinin maliyet açısından değerlendirilmesi (Rimašauskas and Bargelis 2005)

Bu avantajlarla birlikte birleştirme yöntemlerinin birbirlerine göre kullanılan malzemesi, kalınlığı ve türüde incelenmiş birleştirilebilirliği göz önüne alınmıştır. (Tablo.1). Bu özelliklerde göz önüne alındığında soğuk punta yönteminin diğer birleştirme yöntemlerine göre uygulanabilirlik özelliği de birçok noktadan üstündür.

Tablo.1 Farklı metal birleştirme yöntemlerinin birleştirilebilirliğinin incelenmesi (Rimašauskas and Bargelis 2005)

		Soğuk Punta	Nokta Kaynağı	Vidalı Birleştirme	Yapıştırma	Perçinleme
Malzeme	Alüminyum	√	X	√	√	√
	Bakır	√	X	√	√	√
	Düşük Kar. Çelik	√	√	√	√	√
	Paslanmaz Çelik	√	X	√	√	√
Kalınlık (mm)	0,8	√	√	X	√	√
	1	√	√	*	√	√
	1,25	√	√	√	*	√
	1,5	√	√	√	X	√
	2	√	√	√	X	√
Tür	Boyalı	√	X	√	*	√
	Galvanizli	√	X	√	*	√

√=Birleştirilebilir, X=Birleştirme mümkün değil, *=Belirsiz

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada; soğuk punta yöntemiyle birleştirilen malzemeler incelenmiştir. Soğuk punta yöntemi daha çok sac malzemelerin birleştirilmesinde kullanılır. Özellikle son on beş yılda nokta kaynağı ile birleştirilmesi imkânsız olan malzemelerin artan kullanımıyla birlikte yöntemin uygulanması da artmıştır. Neredeyse otuz yıldır otomotiv ve beyaz eşya sektöründe kullanılmaktadır. Nokta kaynağı, vidalı

birleştirme perçinleme, yapıştırma gibi diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında kullanılabilirliği incelendiğinde birçok avantajının olduğu görülmektedir.

Yöntemin avantajları ;

 Bağlantılar herhangi bir deformasyona sebep olmadan kontrol edilebilir.

 Diğer vidalama ve perçinleme yöntemlerinden oldukça hızlı ve seridir.

 İş parçası üzerinde, bitmiş yüzeyde herhangi bir hasar oluşmaz.

 Birleşme bölgesi üzerinde herhangi bir termal yük oluşmaz.

 Kaynaktaki gibi koku duman, gaz gibi faktörler içermez.

 İşlem öncesi veya sonrası yüzey işlemi gerektirmez.

 Herhangi bir ek malzeme harcanmaz.

 Ek malzeme kullanmadığından maliyeti düşüktür.

 Estetik bir yüzey oluşturur.

 Geometri deformasyonu düşüktür.

 Atık madde ve çapak çıkarmaz.

 Enerji maliyetleri düşüktür.

 Çevreye dost bir teknolojidir.

 Kaplama yapılmış ve boyanmış malzemelerin birleştirilmesinde zarar vermeden birleştirmeyi tamamlar.

 Bakım maliyetleri düşüktür.

Bu avantajlar da göz önüne alındığında günümüzde otomotiv sektöründen sonra ısıtma, klima, havalandırma, ofis ekipmanları, bina inşaatı ve ev gereçleri gibi birçok uygulama alanları mevcuttur.



Şekil.5 Soğuk punta yönteminin uygulama alanlarından bazıları

5. Kaynaklar

Hülya KAYA (2012) Form punta yöntemiyle birleştirilmiş ince sac levhaların mekanik özelliklerinin araştırılması

Çetkin, A. (2010). Otomotiv endüstrisinde kullanılan galvanizli çelik-alüminyum sac form punta bağlantılarının mekanik özelliklerinin araştırılması *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, **7:** 25-38.

Oudjene, M., Ayed, L. B. (2008). On the parametrical study of clinch joining of metallic sheets using the Taguchi method. *Engineering Structure.* **30:** 1782-1788.

Rimašauskas, M. and Bargelis, A. (2005). Framework of consideration productivity for assembling operations in sheet metal working. *ISSN 1392 - 1207 Mechanika.* **55:** 51-55.

Varis, J. and Lepisto, J. (2003). A simple testing-based procedure and simulation of the clinching process using finite element analysis for establishing clinching parameters *Thin-Walled Structures,* **41:** 691–709

WEB KAYNAĞI

http://www.erdemir.com.tr/images/urun_hizmetler/Katalog12_01_2012TR.pdf, 19.07.2011

Imaging of cells and bacteria for biomaterials researches with image processing technology

Taha Cagri SENOCAK*[1,a]
[1]Ataturk University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 25240, Erzurum

Abstract

In the field of biomaterials research, especially regarding biocompatibility that is intended to be placed in the body, the behavior of cells and bacteria on surfaces is observed. Generally, in these studies, inverted optical microscopes are used during surface imaging when metallic materials are used. However, the fact that bacteria and cells have three-dimensional shapes makes it difficult to visualize them on non-transparent surfaces. The inability to get a clear image from the surfaces makes the studies of the researchers very difficult. This study explains how to obtain more explicit images by using image processing technology in the imaging of bacteria and cells, which are frequently used in biomaterial studies.

Keywords: Cells-bacteria imaging, Biomaterials, Image processing technology.

1. Introduction

Today, biomaterials, which is the subject of a significant amount of studies, is a fundamental interdisciplinary science that makes progress in increasing living standards of living things and recovering amputation functions. Before the biomaterials are placed in the host body, various tests are performed in an in-vitro environment. In-vivo tests are applied to the biomaterials that successfully pass the in-vitro tests. In case of success in these tests, biomaterials can be applied to the human body by obtaining the necessary permissions. In this context, in-vitro testing is the first step in determining whether or not the material will be a potential biomaterial. In addition, biomaterials completed successfully in the in-vitro stage are generally also successful in in-vivo tests. When it comes to using a biomaterial in a living body, the first thing that comes to mind is the term biocompatibility. Biocompatibility is the reaction of foreign materials placed in the body during the process they are in the host body(Williams 2008). For this reason, it is necessary to determine the behavior of the cells and the bacteria that can grow on them that are in contact with the materials placed in the host body. Imaging techniques such as optical (Senocak *et al.* 2021), fluorescent (Hashim *et al.* 2017), confocal (Barreau *et al.* 2006), and scanning electron microscope (SEM) (Osahor *et al.* 2017) are used in cell and bacterial studies. Among these techniques, images are acquired along a single focal plane in all methods using optical imaging. If the entire surface on which this plane coincides has very low roughness, only a clear image can be obtained. If the material surface has conductivity, the best image can be obtained from non-transparent materials with SEM. However, this technique is expensive compared to other methods, and it is undesirable for the operators to analyze organic materials because they contaminate the SEM microscope detectors. This situation pushes researchers to use more optical imaging systems(Inkson 2016). However, the fact that optical systems can be viewed along the

planar direction ensures that some areas of three-dimensional structures cannot be seen clearly. Package programs such as Adobe Photoshop® and ImageJ®, which are used as developing image processing technology software, provide convenience to researchers in many fields. For example, such software are frequently used to determine cell counting. In addition, these software offer features such as combining different pictures and stacking(McKenzie *et al.* 2015; Saad *et al.* 2008). In this study, the solution of the problem of obtaining clear images in cell and bacterial imaging in optical imaging in biomaterial applications is mentioned. It is explained in detail how to obtain net images by combining image processing technology with images obtained from multiple focal planes with a microscope.

2. Material and Methods

In the study, commercial-grade titanium (Cp-Ti) sample surface was sanded with 180, 240, 400, 600, 800, 1200 SiC abrasives and then polished with 1-micron diamond paste. After cleaning the sample surface with 75% isopropyl alcohol, it was disinfected under UV-A light for 1 hour. Afterward, *staphylococcus aureus* bacteria were cultured on the prepared sample. It was incubated for 24 hours at 36.5°C for 24 hours. After 24 hours, the removed surface was stained with crystal violet, and surface images were taken with Nikon Eclipse LV150 optical microscope at 1000X magnification and stacked with Adobe Photoshop® software.

3. Results and Discussions

In cell and bacterial culture studies, imaging of cells and bacteria is of great importance in determining their proliferation mechanisms. Thanks to these studies, cell-tissue, bacteria-tissue interactions are determined(Wnek 2004). Generally, in researches, cells and bacteria are examined on transparent surfaces such as slide-coverslip after the staining process. In such cases, there is no problem in the imaging process. However, in Biomaterial studies, if images are taken from non-transparent surfaces, it is generally expected that the surfaces are very smooth. It is challenging to prepare metal samples completely smooth in experimental studies so that they can be viewed clearly at high magnifications. If there is an image with cells, bacteria, particles, or any three-dimensional shape on the surface, it is almost impossible to get a clear image. The reason for this situation is that the focal plane of the desired image is displayed only a part of the cells or bacteria on the entire surface, as shown in Figure 1. Researchers do not want to include such images in their research that they cannot obtain clearly.

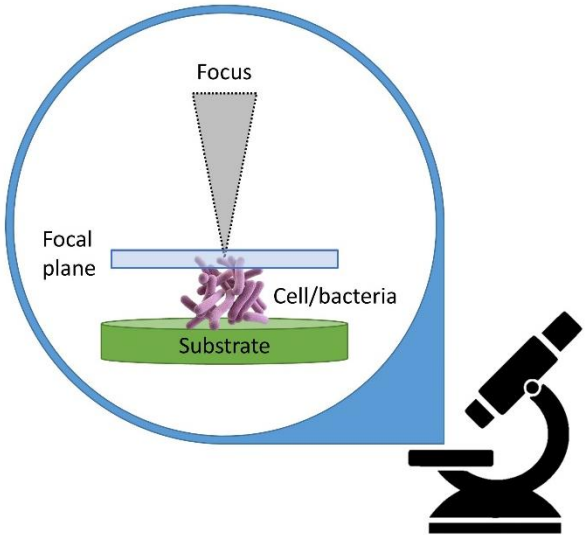


Figure 1. Image acquisition on optical microscopes and focal plane on stage.

Generally, image processing software is used in photography and by forensic identification specialists (FIS). FIS also uses forensic identification by combining several photographs, each with different focal points, to contain all the elements in the photograph. In this way, detailed photographs taken from the crime scene are used effectively by the forensic team. In addition, these photos are shared with the courts(Gould 2012). Although biomaterials researchers do not frequently use image processing software, it requires particular interest. Thanks to using this software in scientific studies, it will facilitate conveniences for low-budget research.

3.1. Taking photos from different focal planes

The first step in cells and bacterial photography is to take many photographs from different focal points with an optical microscope. Surface images are easy to obtain at magnifications as low as 50X. However, as a surface magnification increases, the area of the focus plane narrows. As a result, blurred areas increase in surface images. In order to eliminate the blurred images, the first step is to obtain images on different focal planes, including all the details of the surface, as shown in Figure 2. All photographs taken must consist of many different pictures containing all the details of the three-dimensional shape. Here, it is crucial that the sample does not slide on the microscope and is not in a vibrating working environment. Different light intensities should be avoided while obtaining images. With the microscope's fine adjustment knob, pictures must be taken by simply moving the stage up and down. Each of the images will have blurry details that do not want by the researcher. Taking a large number of photos will allow the details to be obtained more clearly in the final image.

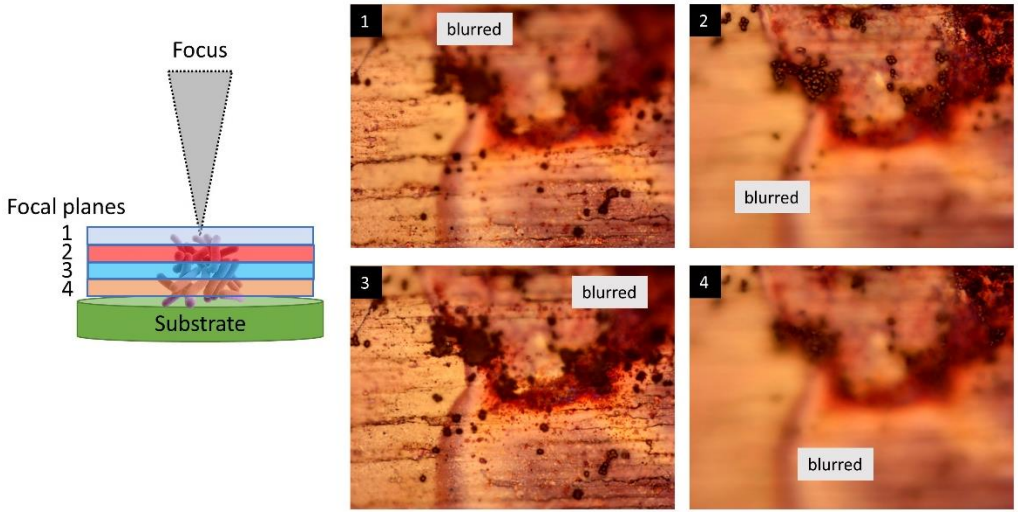


Figure 2. Images that need to be taken from surfaces to view three-dimensional structures.

3.2. Stacking the resulting photos

The photographs taken in step 1 should be transferred to the computer with the digital image processing software. After running the image processing software, all photos must be opened separately in the software. As shown in Figure 3, all photos must be opened in the image processing software.

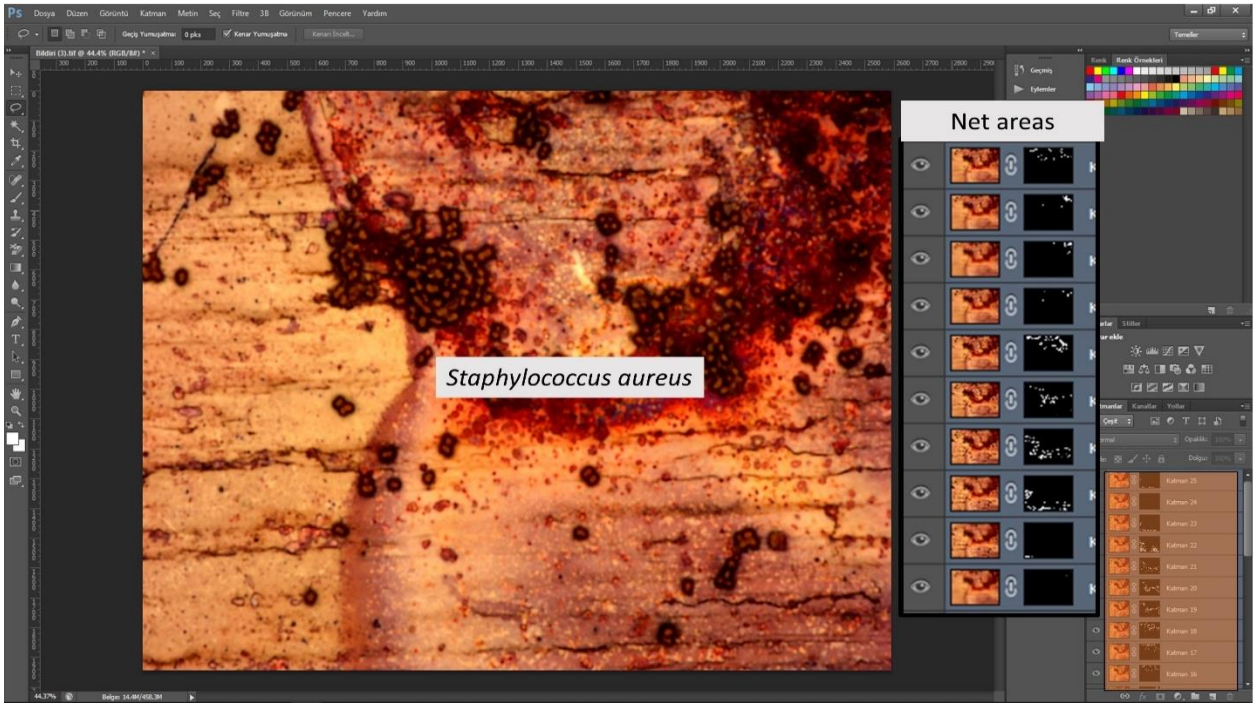


Figure 3. Stacking of photos obtained in different focal plans in image processing software. (Net regions are shown in white.)

After all the photos opened in the software are copied, they must be pasted into a new file. Photos copied into a single file will be displayed in the software as a layer. Stacking should be performed by selecting all of the layers. The final photo will be obtained after the process completion window is closed. A photograph of Staphylococcus aureus bacteria grown on titanium substrate after stacking is shown in Figure 3. Clear areas from different photographs were shown as white areas on black square shapes. Thanks to the software that stacks these white areas from different photographs, cells, and bacterial imaging are provided from non-transparent surfaces without the need for an SEM microscope. As a result of each operation, one clear photo is obtained. The researcher can save the photo in the desired format.

4. Conclusion

This study presents a solution to clear microscope photograph imaging in cells and bacterial imaging in biomaterial applications. Obtained results are given below;

- Thanks to image processing software, clear images of cells and bacteria can be obtained.
- With this process, clear images can be obtained from optical, fluorescent, confocal microscopes on non-transparent samples.
- The process offered as a solution can be used for cell-bacterial imaging, and all three dimensional imaging be take with a microscope.

Acknowledgement

Author thank Prof. Dr. Kadri Vefa Ezirmik, Assoc. Prof. Dr. Seyda Cengiz and Asst. Prof. Dr. Mumin Gokhan Senocak for their contributions in the acquisition and interpretation of this article.

References

Barreau, C., Dutertre, S., Paillard, L. and Osborne, H.B. (2006) Liposome-mediated RNA transfection should be used with caution. *RNA*, 12(10), 1790–1793. doi: 10.1261/rna.191706

Gould, P. (2012) Focus Stacking: How to Simultaneously Focus on Several Photographs Using Adobe Photoshop CS4.

Hashim, F., Mehamod, F.S. and Nawi, N.A. (2017) In Vitro Toxicity Evaluation of Caffeine Imprinted Polymer (CAF-MIP) for Decaffeination Method on Normal Chang Liver Cells. *Makara Journal of Technology*, 21(1), 19. doi: 10.7454/mst.v21i1.3075

Inkson, B.J. (2016) Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission Electron Microscopy (TEM) for Materials Characterization. *In Materials Characterization Using Nondestructive Evaluation (NDE) Methods*, 17–43. doi: 10.1016/B978-0-08-100040-3.00002-X

McKenzie, B., Kay, G., Matthews, K.H., Knott, R.M. and Cairns, D. (2015) The hen's egg chorioallantoic membrane (HET-CAM) test to predict the ophthalmic irritation potential of a cysteamine-containing gel: Quantification using Photoshop® and ImageJ. *International Journal of Pharmaceutics*, 490(1–2), 1–8. doi: 10.1016/j.ijpharm.2015.05.023

Osahor, A., Deekonda, K., Weng, L.C., Sim, E.U.H., Radu, A. and Narayanan, K. (2017) Rapid preparation of adherent mammalian cells for basic scanning electron microscopy (SEM) analysis. *Analytical Biochemistry*, 534, 46–48. doi: 10.1016/j.ab.2017.07.008

Saad, H.A., Terry, M.A., Shamie, N., Chen, E.S., Friend, D.F., Holiman, J.D. and Stoeger, C. (2008) An easy and inexpensive method for quantitative analysis of endothelial damage by using vital dye staining and adobe photoshop software. *Cornea*, 27(7), 818–824. doi:10.1097/ICO.0b013e3181705ca2

Senocak, T.C., Ezirmik, K.V., Aysin, F., Simsek Ozek, N. and Cengiz, S. (2021) Niobium-oxynitride coatings for biomedical applications: Its antibacterial effects and in-vitro cytotoxicity. *Materials Science and Engineering C*, 120, 111662. doi: 10.1016/j.msec.2020.111662

Williams, D.F. (2008) On the mechanisms of biocompatibility. *Biomaterials*, 29(20), 2941–2953. doi: 10.1016/j.biomaterials.2008.04.023

Wnek, G. (2004) Encyclopedia of biomaterials and biomedical engineering. *Choice Reviews Online*, Vol. 42, Informa Healthcare. doi:10.5860/choice.42-1940

PEO Yöntemiyle AA2014 Alüminyum Alaşımı Üzerine Büyütülen h-BN/Al_2O_3 Nanokompozit Kaplamaların Aşınma Özelliklerinin Karakterizasyonu

Taha Çağrı ŞENOCAK*[1,a], Ersin ARSLAN[1,b]
[1]*Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 25240, Erzurum*

Öz

Alüminyum (Al) ve alaşımları, yüksek dayanım-ağırlık oranı, iyi döküm özelliği ve düşük termal genleşme özelliklerinden dolayı otomotiv ve havacılık sektöründe önemli bir yere sahiptir. Al ve alaşımları üzerinde doğal olarak oluşan pasif oksit tabakası onları aşınma ve korozyona karşı korumasına rağmen bu karakteristik özellikleri agresif çevrelerde çokta yeterli olmamaktadır. Plazma elektrolitik oksidasyon (PEO) yöntemi kullanılarak büyütülen Al_2O_3 kaplamalar Al ve alaşımlarının aşınma ve korozyon özellikleri üzerinde önemli katkılar sağlamaktadır. PEO yöntemiyle nanopartiküller metal oksitlerle birlikte yüzeylere başarıyla kaplanmaktadır. Bu çalışmada, AA2014 alaşımının aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla, PEO yöntemi kullanılarak katı yağlayıcı özelliğe sahip h-BN nanopartiküller içeren bir elektrolit içerisinde Al2O3/h-BN nanokompozit kaplamalar büyütülmüştür. Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamaların kalınlıkları girdap akımlarıyla, yapısal özellikleri XRD, SEM-EDS, atmosfer şartlarındaki tribolojik özellikleri pin-on-disk aşınma testi ile tespit edilmiştir. En düşük sürtünme katsayısı 0,23 ile 420/-100V, 1000 Hz, %20 görev döngüsü ve 8 g/L nanopartikül miktarında, en düşük aşınma oranı ise $7,79x10^{-5}$ mm^3/Nm ile 420/-100V, 1000 Hz, %10 görev döngüsü ve 12 g/L nanopartikül miktarında büyütülen kaplamalardan elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: AA2014, PEO, h-BN, Katı yağlayıcı, Aşınma.

1. Giriş

Yakıt emisyonlarının sebep olduğu çevresel problemler ve sınırlı yakıt kaynakları son yıllarda otomotiv endüstrisini hafif malzeme kullanmaya yöneltmiştir. Verimliliğin arttırılması amacıyla yakıt ekonomisi ve egzoz emisyonlarını azaltma ihtiyacı; araçlarda ağırlık, sürtünme ve motor sıcaklığı gibi bazı bileşenlerin tasarımında yenilenme gereksinimini de beraberinde getirmiştir. Alüminyum (Al) ve alaşımları, iyi döküm özelliği, düşük termal genleşme ve yüksek korozyon direnci gibi arzu edilen özelliklerin eşsiz kombinasyonu nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Demirle (Fe: 7,86 g/cm^3) kıyaslandığında daha düşük yoğunluğa sahip alüminyum (Al: 2,7 g/cm^3), magnezyum (Mg: 1,74 g/cm^3), titanyum (Ti: 4,506 g/cm^3), zirkonyum (Zr: 6,52 g/cm^3) gibi hafif metaller, yüksek dayanım-ağırlık oranlarına sahiptirler. Belirtilen özelliklerin yanı sıra fabrikasyon uygulamalarının kolay olması ve gün geçtikçe uzay ve otomobil araştırmalarında kullanımlarındaki artış bu metallerin önemini daha da vurgulamaktadır. Örneğin, otomotiv endüstrisinde 1996 yılında araç başına yaklaşık 110 kg Al kullanılırken bu oran 2015 yılına gelindiğinde yaklaşık olarak 250-340 kg seviyesine yükselmiştir. Al alaşımları özellikle motor iç parçalarında bulunan piston, silindir bloğu ve silindir başı gibi hafif bileşenlerin üretiminde artan uygulama alanına sahiptir. Yüksek dayanım/ağırlık oranına sahip olan Al alaşımları aşınma direncinin çalışma ömründe kritik bir rol oynadığı motor silindir blok üretiminde de sıklıkla

kullanılmaktadır. Motor silindir blokları piston segmanları ile birlikte termal ve mekanik döngüsel gerilim altında bağlantılı olarak hareket eder. Al alaşımları içerisinde farklı alaşım elementleri ile ikincil fazlar oluşturularak tribolojik uygulamalardaki kullanım alanları arttırılabilmektedir. Buna rağmen, Al alaşımları demir ve çelikle kıyaslandığı zaman düşük mukavemet, rijitlik, kuru şartlar altında aşınmaya karşı zayıf tribolojik özellikler sergiler. Bununla beraber, Al alaşımları, içeriğinde bulunan korozyona dirençsiz elementlerin (Cu, Si, Mg vb.) varlığı ve mikro yapısal kusurlarından (örneğin, gözenekler) dolayı zayıf bir korozyon direncine sahiptir. Bu sorunların üstesinden gelebilmek amacıyla yeni alaşım sistemlerinin geliştirilmesi, inhibitör kullanımı ve yüzey modifikasyonları gibi birçok endüstriyel çalışma yapılarak hafif metallerin aşınma ve korozyona karşı dirençlerinin arttırılması hedeflenmektedir (Zhang and Alpas 1993; Yerokhin et al. 1999; Ye 2003; Kainer 2006; Krug et al. 2006; Jiang and Wang 2010; Cheng et al. 2013; Li et al. 2013; Dehnavi 2014).

Al ve alaşımları üzerine büyütülen Al_2O_3 seramik kaplamalar yüksek aşınma ve korozyon direncine sahiptirler. Bu kaplamaların üretilmesi için kimyasal buhar biriktirme (CVD), iyon destekli manyetik sıçratma (PVD) ve termal sprey gibi kaplama yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen bu yöntemler düşük ergime noktasına sahip Al alaşımları için sıklıkla tercih edilmemektedir. Ayrıca Al alaşımlarının yüzey modifikasyonu için anodizasyon, elektrolitik kaplama, elektriksiz kaplama ve plazma sprey kaplama yöntemleri de kullanılmaktadır. Anodizasyon yöntemi Al alaşımlarının yüzey modifikasyonunda önemli bir yere sahiptir. Ancak korozyon ve aşınmaya karşı etkili koruma sağlayamamasının yanında çevreye zararlı asit esaslı çözeltiler ile hazırlanması bu yöntemin kullanılmasında dezavantaj oluşturmaktadır. Plazma Elektrolitik Oksidasyon (PEO) belirtilen uygulamalara göre daha yeni bir yüzey modifikasyon tekniğidir. Al, Mg, Ti ve Zr gibi çeşitli hafif metaller üzerinde seramik oksit tabakalar geliştirilerek uygulanan bir kaplama prosesidir. PEO prosesi, CVD, PVD ve termal sprey prosesi ile kıyaslandığında karmaşık geometrideki ve büyük boyutlardaki parçaların kaplanmasında daha kullanışlı, aynı zamanda ucuz ve çevre dostu bir metottur. PEO prosesi ile yapılan yüksek kalitedeki kaplamalarda mükemmel adezyon, yüksek sertlik, iyi elektriksel direnç, yüksek aşınma, ve iyi korozyon direncine sahip ürünler elde edilmektedir. Bu kaplamalar özellikle uçak-uzay, biyomedikal, optoelektronik ve enerji sektörü uygulamaları gibi özel üretim gerektiren sektörlerde kullanılmaktadır (Sarkar 1975; Clarke and Sarkar 1979; Gupta et al. 2007; Xu et al. 2009; Jiang and Wang 2010; Cheng et al. 2012; Dehnavi et al. 2013; Liang 2013; Dehnavi 2014).

PEO, Plazma destekli vakum gerektiren proseslerle karşılaştırıldığında sadece görünen yüzeyin kaplanıyor (non-line-of-sight) olmaması ve atmosferik basınçta çalışması en önemli üstünlüklerindendir. Ancak PEO prosesi kimyasal, elektrokimyasal, plazma-kimyasal gibi çeşitli şartlar gerektirdiği için ısı, kütle ve şarj transferinin etkisinde kompleks bir prosestir. PEO kaplamalarda istenilen morfolojik ve mikroyapısal özelliklerin sağlanmasında prosesin karakteristiği, kaplamanın büyüme mekanizması, faz dönüşümü ve prosesin kontrolü önemli rol oynayan parametrelerdir. Uygulanan yüksek potansiyelin sonucunda plazma mikro deşarjlar oluşur ve malzeme yüzeyinde fazla sayıda spark meydana gelir. Sparkların bölgesel ısıl hareketlerinden dolayı elektrolitte ve numunede oluşan oksitler seramik kaplamaları oluşturur. PEO hafif metallerde kalın koruyucu kaplamalar meydana getirerek, aşınma direncini ve ana metalden kopma mukavemetini geliştirir (Yerokhin et al. 1999; Hussein et al. 2010; Hussein et al. 2012; Dehnavi et al. 2013; Liang 2013).

PEO prosesi kullanılarak Al alaşımları üzerinde büyütülen seramik oksit kaplama çalışmalarının birçoğu 2XXX ve 6XXX serisi üzerine odaklanmıştır. Al alaşımlarına uygulanan PEO prosesi, dielektrik kırılma geriliminin etkisiyle yüksek sertlikte seramik kaplama katmanı oluşmasını sağlamaktadır. Kaplama ve taban malzeme arasında ara yüzey oluşması neticesinde, güçlü adezyon oluşur ve buna bağlı olarak aşınma direncinde yükselme gözlenir. Ancak kaplama

kalınlığının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğündeki artış kaplama yüzeyi ve aşındırıcıdan parça kopma olasılığını da beraberinde getirmektedir. Bu durum sürtünme katsayısında artışa neden olur. PEO kaplamalarını geliştirmek amacıyla çeşitli bileşenler ve partiküller elektrolite ilave edilmektedir. PEO tekniğinde nanopartikül ilave edilerek büyütülen nanokompozit kaplamalar, ara yüzey problemine sebep olmadan üstün özellikler sergiler (Mulligan and Gall 2005; Yerokhin et al. 2005; Pan et al. 2012; Sreekanth et al. 2012; Treviño et al. 2012; Ma et al. 2014; Sarbishei et al. 2014). PEO tekniğiyle ilgili yapılan çalışmalarda; 2A02 Al alaşımı üzerinde yoğun, düşük gözenekli nanokompozit kaplamalar büyütebilmek için Fe mikropartikülleri (Fanya et al. 2006), Ti üzerinde sialon nanokompozit kaplama ile aşınma özelliklerini arttırmak için Si_3N_4 nanopartikülleri (Aliofkhazraei and Rouhaghdam 2011), Al_2O_3 kaplaması içerisine dağıtılarak sert bir kaplama elde etmek için monoklinik zirkon partikülleri (Matykina et al. 2008) ve TiO_2 üzerinde poroziteyi düşürerek korozyon direncini arttırmak için Al_2O_3 partikülleri ilave edilerek istenilen özelliklere sahip kaplamalar (Aliofkhazraei et al. 2010) elde edilmiştir.

Yumuşak bir malzeme seçilerek üretilen makine elemanları üzerine büyütülen sert kaplamalar taban malzeme üzerinde plastik deformasyonun başlamasına ve kaplamanın kırılmasıyla birlikte malzemenin fonksiyonel özelliklerini yitirmesine neden olur. Bunun sonucunda taban malzemeden ayrılan kaplama temas eden yüzeylerde abrazif etki oluşturur. Diğer bir deyişle transfer filmi oluşturamazlar. Bu sebeple karşı yüzeyi koruyabilecek, aşınma direnci sağlayabilecek ve karşı yüzeyde transfer filmi oluşturabilecek yağlayıcılara gereksinim duyulmaktadır (Arslan 2003).

Tribolojik uygulamalarda, sürtünme ve aşınmaya karşı sıvı ve gres yağlayıcılar sıklıkla kullanılmaktadır. Ancak servis şartlarında (yüksek veya düşük sıcaklıklar, vakum, radyasyon, aşırı temas basınçları vb.) bu yağlayıcıların kullanımlarında yaşanan zorluklardan dolayı tribolojik uygulamalarda sürtünme ve aşınmayı kontrol etmede katı yağlayıcılar tercih edilmektedir. Sıvı ve gres yağlayıcıların içerisine eklenen katı yağlayıcılar, birbirleri üzerinde kayan yüzeylerde sürtünme ve aşınma performanslarını artırıcı etki gösterir. Ancak katı yağlayıcılar yalnız başlarına da sıvı ve gres yağlayıcıların gösterdiği benzer etkiyi göstermektedir. Özellikle birbiri üzerinde hareket eden yüzeylerde aşınma hasarını önleyerek düşük sürtünme sağlar. Molibden disülfür, grafit, hegzagonal bor nitrür, borik asit gibi farklı inorganik malzemeler katı yağlayıcı olarak kullanılmaktadır (Barnett 1976; Broman et al. 1978; Sliney 1982; Booser 1984; McMurtrey 1985; Sutor 1991; Erdemir 1995; Kimura et al. 1999; Lansdown 1999).

Hegzagonal bor nitrür (h-BN), grafit, MoS_2 ve polimerler gibi kendinden yağlayıcı katılar ayrıca ilave yağlayıcı madde kullanılmadan kayma durumunda düşük sürtünme ve/veya aşınma sergiler. h-BN kimyasal olarak kararlı, aşırı yüklemelere karşı dirençli, iyi ısıl genleşme ve yüksek sıcaklıktaki kararlığının yanı sıra sıvı metal, oksit ve cürufa karşı dayanıklı olması diğer katı yağlayıcılara göre üstünlükleridir. h-BN tozları, grafit ve molibden disülfür gibi diğer katı yağlayıcılar ile kıyaslandıklarında belirtilen özellikleri diğer katı yağlayıcılara göre üstündür. h-BN'nin kafes yapısı ve özellikleri ise en iyi doğal yağlayıcılardan birisi olarak bilinen grafite benzerlik göstermektedir (Erdemir 2001; Chen et al. 2008; Shahri et al. 2013).

PEO prosesi kullanılarak katı yağlayıcı özelliğe sahip bileşikler metal malzemeler üzerine kaplanabilmektedir. Ti6Al4V alaşımı üzerine TiO_2/MoS_2 kompozit kaplaması aşınma oranı ve sürtünme katsayısını, TiO2 kaplamasına kıyasla düşürmektedir (Mu et al. 2013). Kendinden yağlayıcı özelliğe sahip bir başka katı yağlayıcı olan politetrafloroetilen (PTFE)'de Al taban malzeme üzerine Al_2O_3/PTFE kompozit olarak kaplanması ile uzun süreli aşınma testleri sonucunda sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybını minimuma düşürmektedir (Wang et al. 2010). İmplant malzemesi olarak Mg taban malzeme üzerine üretilen PTFE/hidroksiapatit kaplaması korozyona karşı direnç göstermektedir (Gnedenkov et al. 2014).

Bor nitrür (BN) birçok kaplama uygulamalarında kullanılmaktadır. Co-hBN nanokompozit kaplama düşük pH'lerde darbeli akımlı elektrokaplama (pulse current electrodeposition) metoduyla, BN ince film kaplama PVD tekniğine alternatif olarak kullanılan darbeli lazer biriktirme (PLD: Pulsed laser deposition) sistemiyle, PEEK ve h-BN tozları toz alev püskürtme yöntemi kullanılarak çeşitli kaplamalar elde edilebilmektedir (Shahri et al. 2013; Glavin et al. 2014; Tharajak et al. 2015).

Bu çalışma; h-BN katı yağlayıcı nanopartiküllerinin eklenmesiyle ile büyütülen Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamaların aşınma özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. PEO prosesi ile üretilen Al_2O_3 kaplamalarının tribolojik özelliklerinin arttırılması için AA2014 alaşımı taban malzeme olarak seçilmiştir. h-BN nanopartiküllerin atmosfer ortamındaki kullanımını iyileştirmek amacıyla Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamalar PEO prosesi ile büyütülmüştür. Deneysel maliyetleri minimum düzeyde tutmak ve kontrol edilebilen parametrelerin optimum değerlerini belirlemek için Taguchi L9(3^4) deney planı seçilmiştir. Prosesi etkileyen kaplama parametrelerini (Gerilim, Frekans, Görev Döngüsü, Nanopartikül miktarı) üç farklı seviyede 9 büyütme ile yapılmıştır. Ancak en iyi sürtünme oranına sahip 420/-100V, 1000 Hz, %20 görev döngüsü ve 8 g/L nanopartikül miktarında büyütülen kaplama ile, en düşük aşınma oranına sahip 420/-100V, 1000 Hz, %10 görev döngüsü ve 12 g/L nanopartikül miktarında büyütülen kaplamaların sonuçları verilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Taban Malzemeler

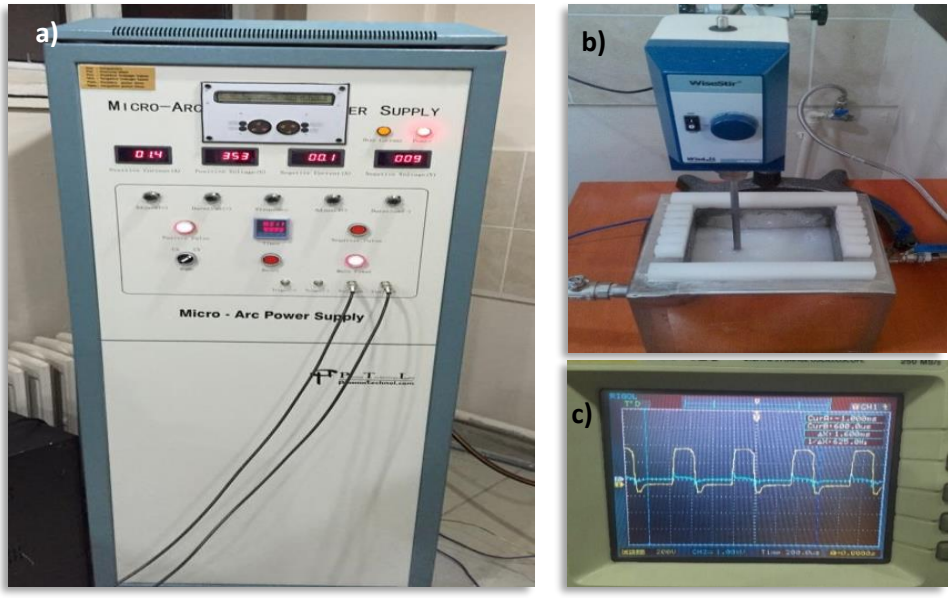
Taban malzemesi olarak (%93,65 Al, %4,68 Cu, %0,74 Mg, %0,45 Mn) kimyasal kompozisyonuna sahip 25x25x3 mm boyutlarındaki AA2014 alaşımı seçildi. Taban malzeme yüzeyi sırasıyla 180, 240, 400, 600, 800, 1200 mesh SiC zımparalarla, daha sonra 6 μm tane boyutundaki elmas pasta ile parlatılarak Ra≈0,15 μm pürüzlülük değerine ulaşıldı.

2.2. Deney Tasarımı

Deneysel çalışmada Taguchi L9(3^4) ortogonal dizi deney planı, Gerilim (V) 420/-100, 460/-100, 480/-100, Frekans (Hz) 500, 1000, 2000, Görev Döngüsü (%) 10, 20, 30, Nanopartikül miktarı (g/L) 4, 8, 12 olarak belirlenmiştir. Minitab yazılımında belirlenen analizlerin en iyi sonuçları çalışma içerisinde verilmiştir.

2.3. PEO Kaplama İşlemi

Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamalar Plasma Technology Ltd. tarafından üretilen ve Şekil 1'de gösterilen PEO-15 sistemi kullanılarak gerçekleştirildi.



Şekil 1. PEO ünitesi a) Güç kaynağı b) Paslanmaz çelik banyo c) Osiloskop

Alternatif akım (AC) güç kaynağı (Şekil 1a) kullanılarak paslanmaz çelik bir banyo içerisinde Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamalar AA2014 taban malzemesi üzerine büyütüldü. 4-12 g hegazagonal bor nitrür (h-BN) nanopartiküller (<120 nm) BORTEK A.Ş. ve 10-15 g Sodyum alüminat ($NaAlO_2$), 0-5 g potasyum hidroksit (KOH) kimyasalları ise Sigma-Aldrich'den temin edilerek elektrolit hazırlandı. Yaklaşık pH değeri 12 olan sulu bir çözelti içerisinde gerçekleştirilen kaplama işleminde AA2014 taban malzemesi anot, paslanmaz çelik banyo duvarları ise katot olarak seçildi ve homojen bir karışım sağlamak amacıyla bir karıştırıcı kullanıldı (Şekil 1b). İşlem süresince alternatif akım (AC) dalga formu bir osiloskop (Şekil 1c) aracılığıyla gözlendi. 10 dakikalık sabit kaplama süresinde gerçekleştirilen kaplama işlemi esnasında elektrolit sıcaklığını 25°C'nin altında tutabilmek amacıyla paslanmaz çelik banyo cidarından su geçirildi. Kaplama işlemlerinden sonra numuneler alkol ile yıkandıktan sonra kurutuldu.

2.4. Yapısal Analizlerin Belirlenmesi ve Aşınma Testi

Kaplama işlemi öncesi ve sonrası numunelerin XRD ölçümleri λ=1.5404 A° dalga boyunda, Cu-Kα radyasyon kaynaklı Rigaku-2200D/Max X-Ray difraktometresi ile gerçekleştirildi. Ölçüm değerleri, 10-90° tarama açısında, 2 derece/dk tarama hızında ve 0,1° tarama adımında elde edildi. XRD sonuçları, PANalytical X'Pert HighScore yazılımında, standart JCPDS (Joint Committe on Powder Diffraction Standarts) kullanılarak mukayese edildi.

PEO prosesi ile büyütülen nanokompozit kaplamaların yüzey topografyası ve aşınma profilleri INSPECT S50 marka taramalı elektron mikroskopu (SEM:Scanning Electron Microscope) ile elementel analizler ise EDAX marka enerji dağılımlı spektroskopi (EDS:Energy Dispersive Spectroscopy) ile belirlendi.

AA2014 taban malzemesinin ve Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamaların aşınma davranışları Teer-POD2 pin-on-disk aşınma cihazı ile belirlendi. Sürtünme ve aşınma test parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Pin-on-disk aşınma testinde kullanılan deney şartları.

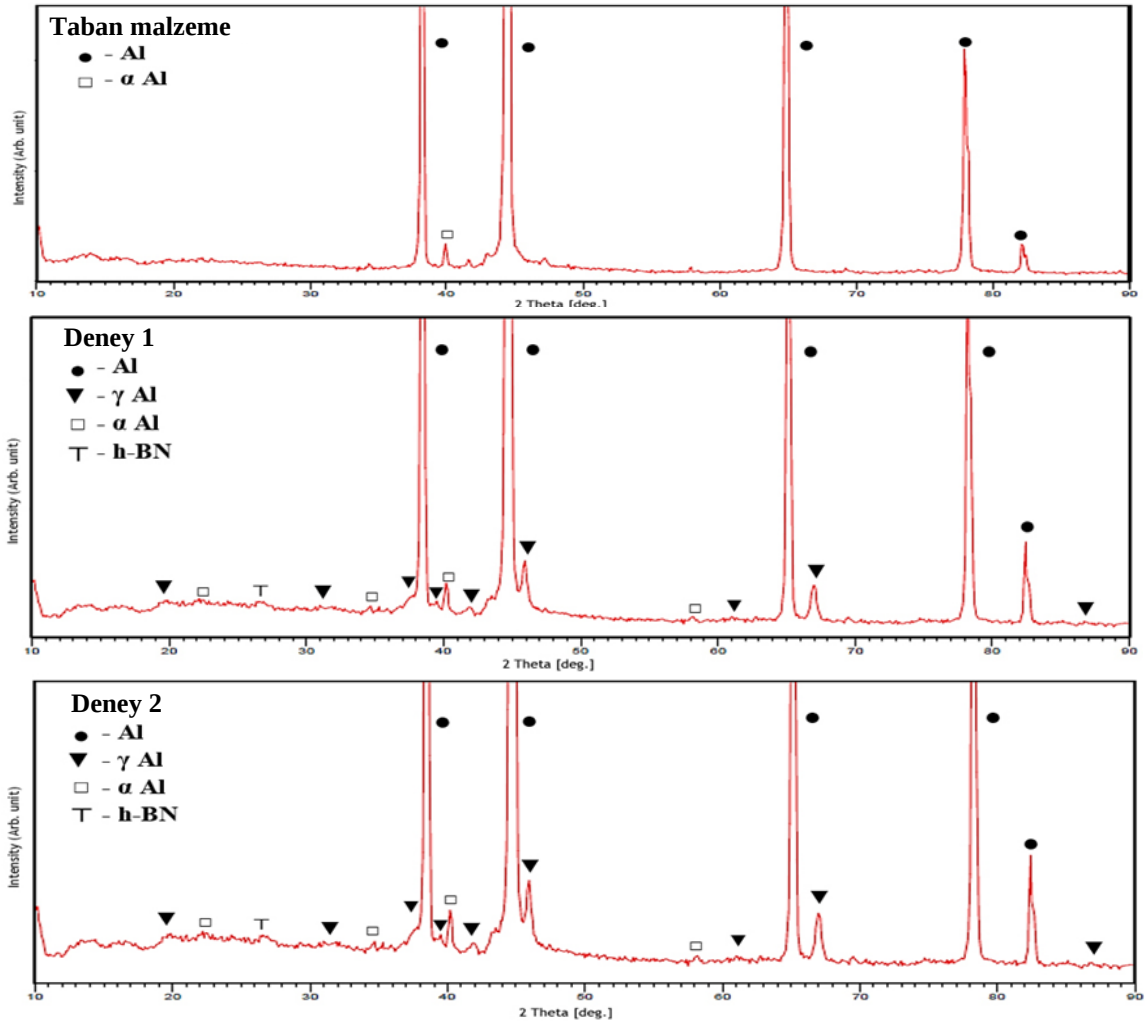
Parametreler	Deney Şartları
Uygulanan yük, (N)	2
Hız, (mms^{-1})	197,9
İz çapı, (mm)	6
Ortam	Hava
Sıcaklık, °C	19±1
İzafi nem, (%RH)	40±5
Süre, sn	600
Pürüzlülük, (Ra, µm)	0.12
WC-%6Co bilye çapı, (mm)	5

3. Bulgular ve Tartışma

Büyütülen kaplamalar Taguchi L9(3^4) deney planına göre seçilmiştir. Prosesi etkileyen kaplama parametrelerini (Gerilim, Frekans, Görev Döngüsü, Nanopartikül miktarı) üç farklı seviyede 9 büyütme ile yapılmıştır. Ancak en iyi sürtünme oranına sahip 420/-100V, 1000 Hz, %20 görev döngüsü ve 8 g/L nanopartikül miktarında büyütülen kaplama (Deney 1) ile en düşük aşınma oranına sahip 420/-100V, 1000 Hz, %10 görev döngüsü ve 12 g/L nanopartikül miktarında büyütülen kaplama (Deney 2) sonuçları verilmiştir.

3.1. XRD Analizleri

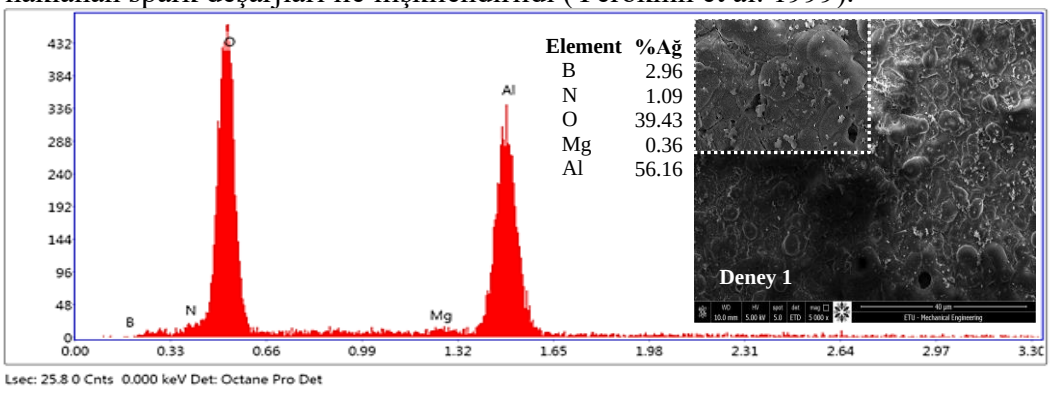
AA2014 taban malzemesi ve PEO yöntemi ile parametrelerin farklı seviyelerinde büyütülen Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamalar için Şekil 2'de XRD analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi AA2014 alüminyum alaşımını karakterize eden farklı yoğunluk ve yansıma açılarında birçok pike rastlandı. Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamalar için α-Alümina, γ-Alümina ve h-BN fazlarını karakterize eden pikler sırasıyla JCPDS 10-0173, JCPDS 10-0425 ve JCPDS 45-0896 kartları kullanılarak belirlendi. XRD analizlerinde parametrelerin farklı seviyelerinde PEO yöntemi ile büyütülen Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamalarda farklı yoğunluklarda ve yansıma açılarında α, γ-Alümina, h-BN ve taban malzemeden yansıyan piklere ve deney şartlarına bağlı olarak α-Alümina, γ-Alümina ve h-BN fazlarının yoğunluklarında kısmen değişiklikler olduğu gözlendi. Çok sayıdaki yarı kararlı γ-Alümina fazının mevcudiyeti PEO yöntemi esnasında meydana gelen yüksek sıcaklıkla birlikte oluşan Al2O3 fazının hızlı soğuma ile γ-Alümina fazına dönüşmesiyle açıklanabilir (Sundararajan and Krishna 2003).

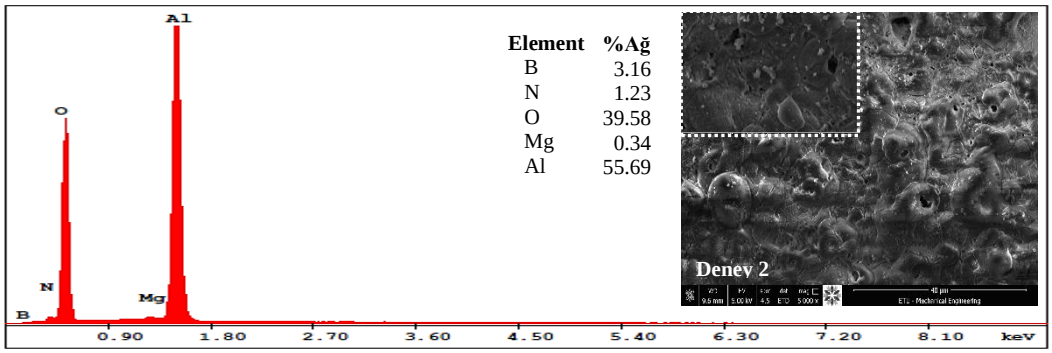


Şekil 2. Taban malzeme ve yapılan çalışmaların XRD spektrumları

3.2. SEM-EDS Analizleri

PEO yöntemi ile farklı parametre ve seviyelerinde büyütülen Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamaların SEM görüntüleri, EDS spektrumları ve kantitatif sonuçları Şekil 3'de, verilmiştir. Şekil 3'de gösterilen SEM görüntüleri incelendiğinde, tüm kaplamaların dairesel formda yoğun gözeneklerden oluştuğu gözlendi. Ayrıca gözenekler arasında volkan tepesi şeklinde yükseltilerin oluştuğu belirlendi. Yüzeydeki gözenekli yapılar PEO işleminin doğasından kaynaklanan spark deşarjları ile ilişkilendirildi (Yerokhin et al. 1999).



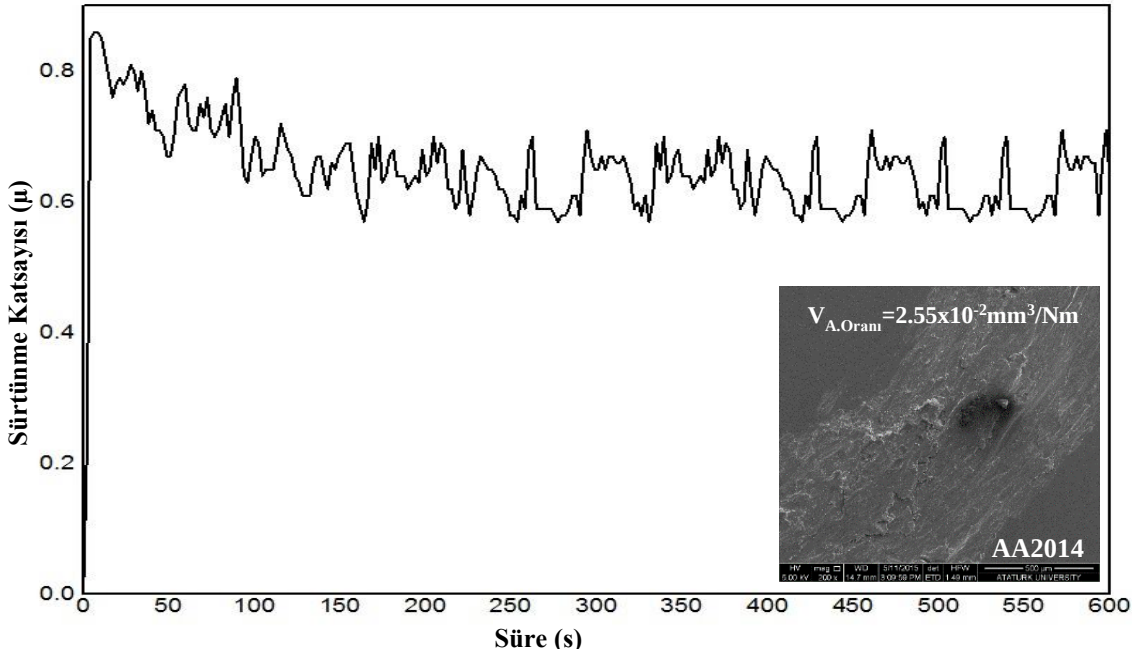


Şekil 3. PEO yöntemi ile büyütülen kaplamların SEM-EDS analizi.

Kaplamaların pürüzlülük değerleri ile yüzey morfolojileri karşılaştırıldığında deney 1 şartlarında büyütülen kaplamaların yüzey morfolojilerinin daha küçük ve homojen dağılımlı gözenekler içerdiği gözlendi.

3.2. Aşınma Deneyleri

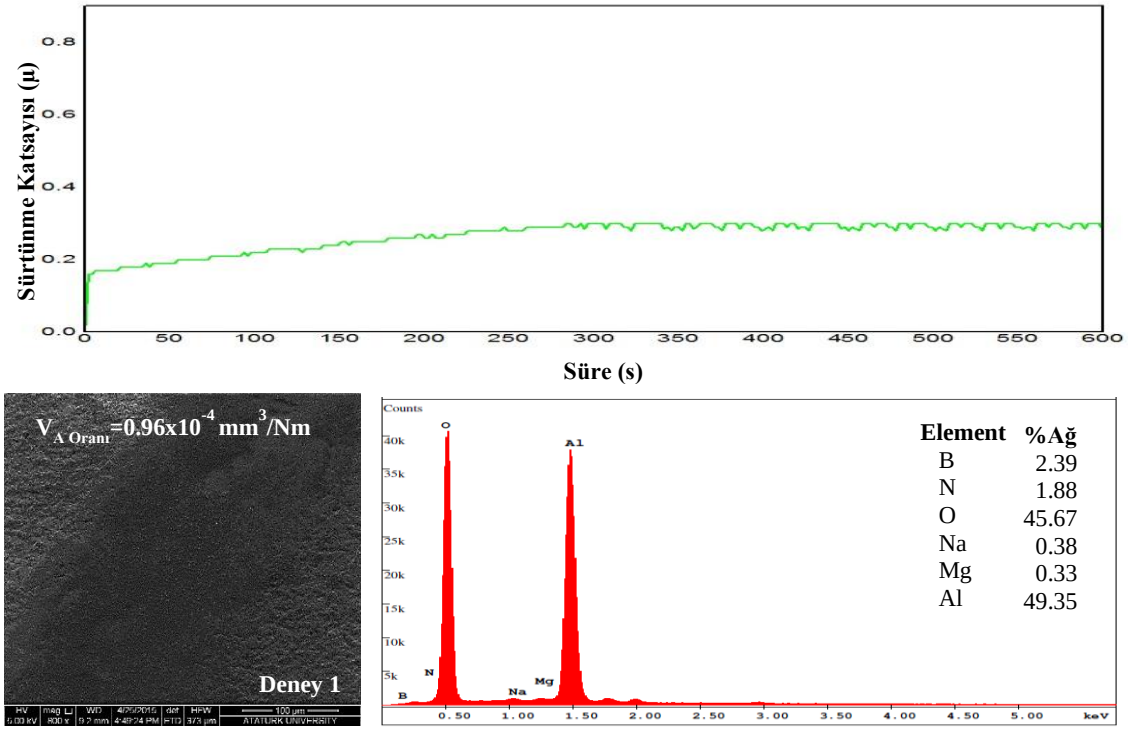
AA2014 taban malzemesi için Şekil 4, PEO yöntemi ile farklı parametre ve seviyelerinde büyütülen Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamalar için Şekil 5 ve 6'da aşınma testi sonrası elde edilen sürtünme katsayısı-süre ilişkisi, aşınma izlerine ait SEM görüntüsü, aşınma oranı ve aşınma izlerine ait EDS spektrumları verilmiştir.



Şekil 4. AA2014 taban malzemesinin sürtünme katsayısı-süre ilişkisi, aşınma izi SEM görüntüsü

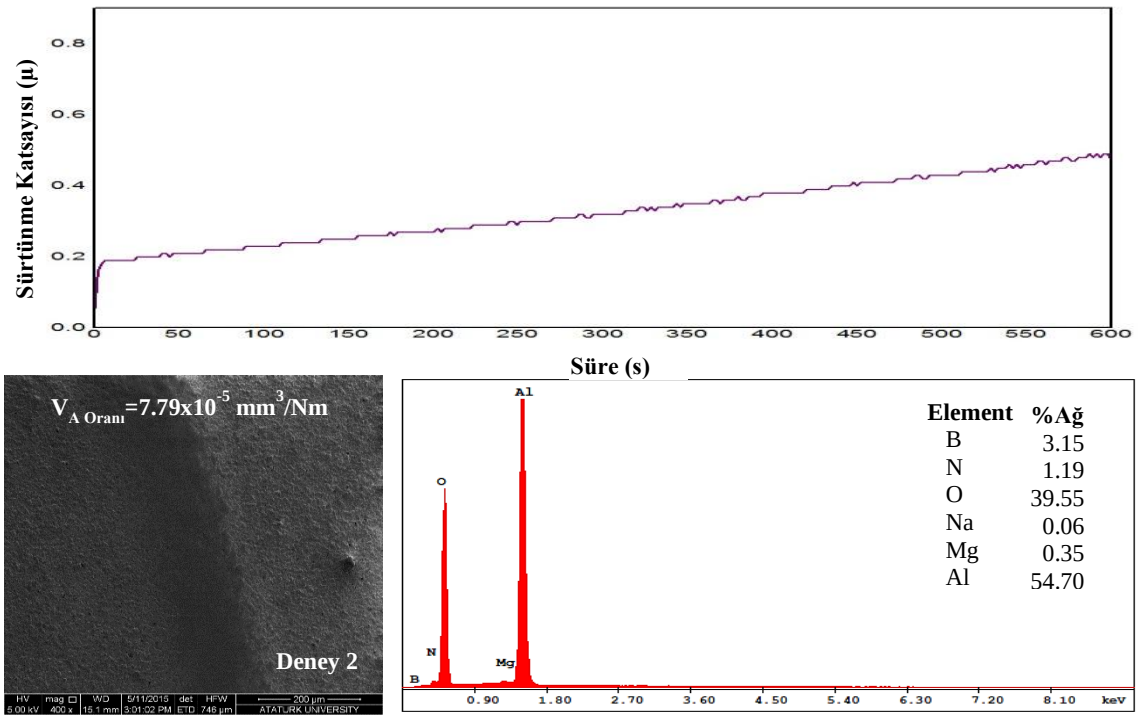
Tüm kaplamaların sürtünme ve aşınma oranları incelendiğinde, taban malzemeden daha düşük olduğu ve Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamasının AA2014 taban malzemesinin aşınma özellikleri üzerinde koruyucu bir etki oluşturduğu belirlendi. Şekil 4'de taban malzemesine ait sürtünme katsayısı-süre ilişkisi verilmiştir. AA2014 taban malzemesi için düzensiz dalgalanmalar şeklinde μ=0.57-0.71 aralığında değişen bir sürtünme grafiği elde edildi. Sürtünme katsayısındaki bu düzensiz dalgalanmalar aşınma boyunca temas yüzeyleri arasında

meydana gelen adezyon ile ilişkilendirildi (Arrabal et al. 2015). Taban malzemeye ait aşınma izi SEM görüntüsü incelendiğinde oldukça geniş bir aşınma izi ve aşınma partiküllerinin aşınma izi içerisine sıvandığı gözlenirken 2.55x10^{-2} mm^3/Nm değerinde oldukça yüksek bir aşınma oranı elde edildi.



Şekil 5. Deney 1 şartlarında büyütülen Al_2O_3/h-BN nanokompozit yapıların sürtünme katsayısı-süre ilişkisi, aşınma izi SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 5'te gösterilen Deney 1 şartlarında büyütülen kaplamaların sürtünme katsayısı μ=0.16'dan başlayarak düşük bir artış eğilimiyle test sonunda μ=0.29 bir değere ulaştı. Deney 1'e ait aşınma izi SEM görüntüsü incelendiğinde oldukça dar bir aşınma izi gözlenirken herhangi bir abrazif partiküle rastlanmadı. Bu durum h-BN nanopartiküllerin katı yağlayıcı olarak davrandığını gösterdi. Bu kaplamalarda 0,69x10^{-4} mm^3/Nm değerinde oldukça düşük bir aşınma oranı elde edildi. Deney 1 şartlarında büyütülen kaplamaların aşınma izinden alınan kantitatif EDS sonuçlarına göre ağırlıkça %2,39 bor ve %1,88 azot elementinin varlığı belirlendi. Bu durum aşınma testi boyunca nanokompozit yapının mevcut olduğunu gösterdi.



Şekil 6. Deney 2 şartlarında büyütülen Al2O3/h-BN nanokompozit yapıların sürtünme katsayısı-süre ilişkisi, aşınma izi SEM görüntüsü ve EDS analizi

Şekil 6'da gösterilen XRD spektrumları incelendiğinde, Deney 1'e benzer şekilde yapı içerisinde α ve γ-Alümina fazlarına rastlandı. Yüzey morfolojileri ise yine PEO'nun doğasından kaynaklanan dairesel formda, gözeneklerden ve gözenekler arasında volkan tepesi yükseltilerden oluştuğu gözlendi. EDS spektrumlarının kantitatif sonuçlarında oksijen, bor ve azot miktarındaki ağırlıkça değişim sırasıyla %39.55, %3.15 ve %1.19 olarak belirlendi. En düşük sürtünme katsayısına sahip deney 1 şartlarında büyütülen kaplamayla kıyaslandığında oksijen, bor ve azot miktarının daha yüksek olduğu tespit edildi. Deney 2 şartlarında büyütülen Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplama için verilen sürtünme katsayısı-süre ilişkisi incelendiğinde, sürtünme katsayısının μ=0.16'dan başlayarak artan bir şekilde test süresinin sonunda μ=0.49'a ulaştığı belirlendi. Deney 2 şartlarında büyütülen kaplamanın aşınma izi Deney 1 şartlarında büyütülen kaplama ile karşılaştırıldığında (Şekil 5 ve 6) aşınma izinin daha dar olduğu belirlendi. Bu durum elde edilen $7.79x10^{-5}$ mm^3/Nm'lik aşınma oranıyla da doğrulandı. Aşınma izinden alınan EDS analizi sonuçlarına göre ise ağırlıkça %3,15 bor ve %1,19 azot elementlerinin varlığı belirlendi. Bu bağlamda katı yağlayıcı olarak kullanılan h-BN nanopartiküllerin aşınma oranı üzerinde etkili olduğu tespit edildi.

4. Sonuçlar

AA2014 alüminyum alaşımının aşınma özelliklerinin geliştirilmesi amacıyla Plazma Elektrolitik Oksidasyon (PEO) yöntemi ile katı yağlayıcılık özelliğine sahip h-BN nanopartiküller içeren bir elektrolit içerisinde Taguchi $L9(3^4)$ deney tasarımı yöntemi kullanılarak Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamalar büyütüldü. Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamaların yapısal ve tribolojik özellikleri araştırıldı ve aşağıdaki sonuçlar elde edildi:

- Parametrelerin farklı seviyelerinde büyütülen Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamaların yüzey morfolojilerinde mikro boyutta dairesel formda gözenekler ve volkan tepecikleri şeklinde büyüyen yapılar gözlendi. Elde edilen bu yüzey morfolojisi PEO işleminin doğası gereği meydana gelen şiddetli sparklar oluşumundan kaynaklandığı tespit edildi.

- Deney 1 şartlarında büyütülen kaplamaların yüzey morfolojilerinin daha küçük ve homojen dağılımlı gözenekler içerdiği, h-BN nanopartiküllerin ise yüzeye homojen bir şekilde dağıldığı ve deşarj kanalları içerisine yoğun bir şekilde biriktiği belirlendi.
- Al_2O_3/h-BN nanokompozit kaplamaların XRD kullanılarak gerçekleştirilen yapısal analizlerinde Al_2O_3'ü karakterize eden α-Alümina, γ-Alümina ve h-BN nanopartiküllerinden farklı yansıma açılarında ve yoğunluklarda pikler elde edildi.
- Tüm kaplamalar için aşınma izleri üzerinden alınan EDS spektrumlarında bor ve azot elementinin varlığı tespit edildi.
- En düşük sürtünme katsayısı için her parametrenin optimum değeri hesaplandı. Sürtünme katsayısı için en iyi deney parametre seviyesinin gerilim 420/-100 V, frekans 1000 Hz, görev döngüsü %20, nanopartikül miktarı 8 g/L olarak belirlendi.
- $7.79x10^{-5}$ mm^3/ Nm ile en düşük aşınma oranı deney 2 şartlarında büyütülen kaplamadan elde edildi. Bu kaplama için μ=0.16'dan başlayan ve test süresinin sonunda μ=0,49'a ulaşan sürtünme katsayıları elde edildi.

Kaynaklar

Aliofkhazraei, M. and Rouhaghdam, A. S. (2010) Fabrication of nanostructures by plasma electrolysis: John Wiley & Sons.

Aliofkhazraei, M. and Rouhaghdam, A. S. (2011) Wear and coating removal mechanism of alumina/titania nanocomposite layer fabricated by plasma electrolysis. Surface and Coatings Technology, 205, 57-62.

Arrabal, R., Mohedano, M., Matykina, E., Pardo, A., Mingo, B. and Merino, M. C. (2015) Characterization and wear behaviour of PEO coatings on 6082-T6 aluminium alloy with incorporated α-Al2O3 particles. *Surface and Coatings Technology*, 269(0), 64-73.

Arslan, E. (2003) MoS2-Ti Kompozit İnce Filmin Farklı Çelik Türleri Üzerine PVD ile Kaplanması: Mekanik-Tribolojik-Yapısal Özelliklerinin Karakterizasyonu. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Barnett, R. (1976). Molybdenum disulfide as an additive for lubricating greases. Paper presented at the Proceedings of the JSLE-ASLE International Lubrication Conference. *American Elsevier Publishing Co. Inc.*, New York. 794-803.

Booser, E. R. (1984) CRC handbook of lubrication. Theory and practice of tribology: Volume II: Theory and design.

Broman, V., DeJovine, J., DeVries and D., Keller, G. (1978) Testing of friction modified crankcase oils for improved fuel economy: *SAE Technical Paper*.

Chen, B., Bi, Q., Yang, J., Xia, Y. and Hao, J. (2008) Tribological properties of solid lubricants (graphite, h-BN) for Cu-based P/M friction composites. *Tribology International*, 41(12), 1145-1152.

Cheng, Y. L., Xue, Z.-g., Wang, Q., Wu, X.-Q., Matykina, E., Skeldon, P. and Thompson, G. (2013) New findings on properties of plasma electrolytic oxidation coatings from study of an Al–Cu–Li alloy. Electrochimica Acta, 107, 358-378.

Clarke, J., Sarkar, A. (1979) Wear characteristics of as-cast binary aluminium-silicon alloys. *Wear*, 54(1), 7-16.

Dehnavi, V. (2014) Surface Modification of Aluminum Alloys by Plasma Electrolytic Oxidation. The University of Western Ontario London.

Dehnavi, V., Luan, B. L., Shoesmith, D. W., Liu, X. Y. and Rohani, S. (2013) Effect of duty cycle and applied current frequency on plasma electrolytic oxidation (PEO) coating growth behavior. *Surface and Coatings Technology*, 226, 100-107.

Erdemir, A. (1995) Lubrication from mixture of boric acid with oils and greases: *Google Patents*.

Erdemir, A. (2001) Solid lubricants and self-lubricating films. *Modern tribology handbook*, 2, 787.

Fanya, J., Chu Paul, K., Honghui, T. and Jun, Z. (2006) Improvement of Surface Porosity and Properties of Alumina Films by Incorporation of Fe Micrograins in Micro-arc Oxidation.

Glavin, N. R., Jespersen, M. L., Check, M. H., Hu, J., Hilton, A. M., Fisher, T. S. and Voevodin, A. A. (2014) Synthesis of few-layer, large area hexagonal-boron nitride by pulsed laser deposition. *Thin Solid Films*, 572, 245-250.

Gnedenkov, S., Sinebryukhov, S., Zavidnaya, A., Egorkin, V., Mashtalyar, D., Sergienko, V. and Matthews, A. (2014) Composite hydroxyapatite-PTFE coatings on Mg-Mn-Ce alloy for resorbable implant applications via a plasma electrolytic oxidation-based route. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 45(6), 3104-3109.

Gupta, P., Tenhundfeld, G., Daigle, E. and Ryabkov, D. (2007) Electrolytic plasma technology: Science and engineering-An overview. *Surface and Coatings Technology*, 201(21), 8746-8760.

Hussein, R., Northwood, D. and Nie, X. (2012) The influence of pulse timing and current mode on the microstructure and corrosion behaviour of a plasma electrolytic oxidation (PEO) coated AM60B magnesium alloy. *Journal of Alloys and Compounds*, 541, 41-48.

Jiang, B. L., Wang, Y. M. (2010) Plasma electrolytic oxidation treatment of aluminium and titanium alloys. In H. Dong (Ed.), *Surface Engineering of Light Alloys* (pp. 110-154): Woodhead Publishing.

Kainer, K. U. (2006) Metal matrix composites: custom-made materials for automotive and aerospace engineering: *John Wiley & Sons*.

Kimura, Y., Wakabayashi, T., Okada, K., Wada, T. and Nishikawa, H. (1999) Boron nitride as a lubricant additive. *Wear*, 232(2), 199-206.

Krug, P., Kennedy, M. and Foss, J. (2006) New aluminum alloys for cylinder liner applications: SAE Technical Paper.

Lansdown, A. R. (1999) Molybdenum disulphide lubrication (Vol. 35): *Elsevier*.

Li, Q., Liang, J. and Wang, Q. (2013) Plasma electrolytic oxidation coatings on lightweight metals Mordern Surface Engineering Treatments. *Intech Rijeka*, 75-99.

Liang, C.-J. (2013) In-situ Impedance Spectroscopy Studies of the Plasma Electrolytic Oxidation Coating Process.

Ma, K., Jeng, Al Bosta, M. M. S. and Wu, W.T. (2014) Preparation of self-lubricating composite coatings through a micro-arc plasma oxidation with graphite in electrolyte solution. *Surface and Coatings Technology*, 259, Part B, 318-324.

Matykina, E., Arrabal, R., Monfort, F., Skeldon, P. and Thompson, G. (2008) Incorporation of zirconia into coatings formed by DC plasma electrolytic oxidation of aluminium in nanoparticle suspensions. *Applied Surface Science*, 255(5), 2830-2839.

McMurtrey, E. L. (1985) Lubrication handbook for the space industry. *Part A: Solid lubricants. Part B: Liquid lubricants*.

Mu, M., Liang, J., Zhou, X. and Xiao, Q. (2013) One-step preparation of TiO2/MoS2 composite coating on Ti6Al4V alloy by plasma electrolytic oxidation and its tribological properties. *Surface and Coatings Technology*, 214, 124-130.

Mulligan, C. P., Gall, D. (2005) CrN–Ag self-lubricating hard coatings. *Surface and Coatings Technology*, 200(5–6), 1495-1500.

Pan, Y., Chen, C., Wang, D., Yu, X. and Lin, Z. (2012) Influence of additives on microstructure and property of microarc oxidized Mg–Si–O coatings. *Ceramics International*, 38(7), 5527-5533.

Sarbishei, S., Sani, M. A. F. and Mohammadi, M. R. (2014) Study plasma electrolytic oxidation process and characterization of coatings formed in an alumina nanoparticle suspension. *Vacuum*, 108, 12-19.

Sarkar, A. (1975) Wear of aluminium-silicon alloys. *Wear*, 31(2), 331-343.

Shahri, Z., Allahkaram, S. R. and Zarebidaki, A. (2013) Electrodeposition and characterization of Co–BN (h) nanocomposite coatings. *Applied Surface Science*, 276(0), 174-181.

Sliney, H. E. (1982) Solid lubricant materials for high temperatures-a review. *Tribology International*, 15(5), 303-315.

Sreekanth, D., Rameshbabu, N. and Venkateswarlu, K. (2012) Effect of various additives on morphology and corrosion behavior of ceramic coatings developed on AZ31 magnesium alloy by plasma electrolytic oxidation. *Ceramics International*, 38(6), 4607-4615.

Sundararajan, G., Krishna, L. R. (2003) Mechanisms underlying the formation of thick alumina coatings through the MAO coating technology. *Surface and Coatings Technology*, 167(2), 269-277.

Sutor, P. 1991. Solid lubricants: overview and recent developments. MRS Bulletin, 16(05), 24-30.

Tharajak, J., Palathai, T., Sombatsompop, N. (2015) Morphological and physical properties and friction/wear behavior of h-BN filled PEEK composite coatings. *Surface and Coatings Technology*.

Treviño, M., Garza-Montes-de-Oca, N., Pérez, A., Hernández-Rodríguez, M., Juárez, A. and Colás, R. (2012) Wear of an aluminium alloy coated by plasma electrolytic oxidation. *Surface and Coatings Technology*, 206(8), 2213-2219.

Wang, Z., Wu, L., Qi, Y., Cai, W. and Jiang, Z. (2010) Self-lubricating Al2O3/PTFE composite coating formation on surface of aluminium alloy. *Surface and Coatings Technology*, 204(20), 3315-3318.

Xu, F., Xia, Y. and Li, G. (2009) The mechanism of PEO process on Al–Si alloys with the bulk primary silicon. *Applied Surface Science*, 255(23), 9531-9538.

Ye, H. (2003) An overview of the development of Al-Si-alloy based material for engine applications. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 12(3), 288-297.

Yerokhin, A. L., Nie, X., Leyland, A., Matthews, A. and Dowey, S. J. (1999) Plasma electrolysis for surface engineering. *Surface and Coatings Technology*, 122(2–3), 73-93.

Yerokhin, A., Shatrov, A., Samsonov, V., Shashkov, P., Pilkington, A., Leyland, A. and Matthews, A. (2005) Oxide ceramic coatings on aluminium alloys produced by a pulsed bipolar plasma electrolytic oxidation process. *Surface and Coatings Technology*, 199(2), 150-157.

Zhang, J. and Alpas, A. (1993) Wear regimes and transitions in Al2O3 particulate-reinforced aluminum alloys. *Materials Science and Engineering: A*, 161(2), 273-284.

FOL Deresi'nden Güneydoğu Karadeniz'e Desarj Olan Koheziv Sedimentlerin Deniz Ortamındaki Davranışları

Behavior of Cohesive Sediments in the Marine Environment Discharged from the FOL River to the Southeastern Black Sea

Devran YAZIR

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Sürmene Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Ulaştırma İşletme Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Karadeniz Technical University, Surmene Faculty of Marine Sciences, Maritime Transportation and Management Engineering, Trabzon

Öz

Sedimentin deredeki hareketini modellemek her ne kadar zor olsa da denize ulaştıktan sonra deniz ortamındaki davranışını modellemek daha da zordur. Trabzon ili Vakfıkebir ilçe sınırları içerisinde bulunan Fol deresinden denize giriş yapan koheziv sedimentlerin deniz ortamındaki akıbetleri POMSED paket programı kullanılarak modellenmiştir. Dereden denize giriş yapan koheziv sedimentlerin hâkim kuzey-batı yönlü rüzgâr etkisi, batıdan doğuya doğru olan akıntı, dereye giriş yapan koheziv sediment miktarı ve sediment sürüklenme hızı gibi farklı parametre değerleri kullanılarak deniz ortamındaki biriktiği ve çökeldiği alanlar modellenmiştir. Sediment sürüklenme hızının yani yüksek akışlı dönemlerin sedimentlerin deniz ortamındaki birikme ve çökelme alanları üzerine en çok etki eden parametre olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Fol Deresi, Kohezive Sediment, Sediment Sürüklenme Hızı, Rüzgâr, Akıntı

Abstract

Although it is difficult to model the movement of sediment in the river, it is more difficult to model its behavior in the marine environment after reaching the sea. The fate of the cohesive sediments entering the sea from the Fol River located within the borders of Vakfıkebir district of Trabzon province were modeled using POMSED package program. The areas, where the cohesive sediments entering the sea from the river, are accumulated, and deposited in the marine environment were modeled under different parameters such as the north-west wind effect, the current from the west to the east, the amount of cohesive sediment entering the stream and the sediment drift velocity. It has been determined that the sediment drift velocity, that is, the high-flow seasons, is the parameter that has the most impact on the accumulation and deposition areas of cohesive sediments in the marine environment.

Key Words: Fol River, Cohesive Sediment, Sediment Drift Velocity, Wind, Current

1. Introduction

The transported sediment load's entry into the sea from the river mouth and its behavior in the marine environment have a complex structure. Movement, transport, and settling of sediment occur with different properties for each hydraulic condition. Although the sediment is carried by the river, the distribution and settling area of the sediment is in the marine environment (Berkün et al., 2010). Not all sediments entering the sea can reach offshore. Some of the sediments entering the sea are kept in closed bays and ports, preventing them from mixing into the offshore. Wave movements erode the rocks in the coastal area, causing the coast to move towards the land or carry the fragmented particles towards the shore, causing sediment accumulation. Waves are the main factor controlling solids transport in open coasts and determining the coastal shape (Ülger, 2006). Coastal areas reach equilibrium in terms of the transport of solid materials such as sand, gravel, and clay in a very long process under the influence of various external factors such as wind, waves, currents, and the streams reaching them. In this process, which is expressed in thousands of years, unless a factor that will disrupt the fixed coastal area is effective, there will be no significant erosion or coastal progression in the coastal areas. While the effects of natural factors occur in long periods of decades, the results of artificial factors can be seen in short periods of a few years or even months. The most important humanitarian factors that cause the disruption of the coastal area are the uncontrolled and excessive discharge of material from the shore, the prevention of the material that feeds the coast and the coastal balance by engineering structures, and the disruption of the solid material transport regime on the shore as a result of unconscious construction. Erosion caused by ports, shelters and seawall and shallowing in the harbor basin, scouring caused by coastal walls and fortifications, and coastal change problems caused by coastal structures such as spur and offshore seawall are important examples to be given in this regard (Kankal, 2004; Berkün et al., 2010). Erosion is the event that these particles are separated from their natural spaces due to various reasons such as water and wind and consequently accumulate in different environments as a result of the fragmentation of soil piles. The number of rivers, streams, and creeks flowing into the Black Sea is around 1000, and their water flow amounts, and basin capacities differ greatly from each other. Most of these are small streams and streams, but 500 of them exceed 10 km in length.

Fol River is one of the important streams flowing into the Black Sea. The fate of the cohesive sediments in the marine environment entering the sea from the Fol River located within the borders of the Vakfıkebir district of Trabzon province was modeled using the POMSED package program. The areas where cohesive sediments accumulated and deposited in the marine environment were modeled using different parameter values such as the dominant north-west direction wind effect, the current from west to east, the amount of cohesive sediment entering the stream, and the sediment drift velocity.

2. Methodology

2.1.Pomsed Model

This model is really designed to simulate water level distribution, current, temperature, salinity, transport of cohesive and non-cohesive sediments, and freshwater systems in a time-dependent manner. This model consists of several modules. These are hydrodynamic module, sediment transport module, wind-wave module, heat flux module, and particle tracking module (Lick et al., 1994; HydroQual, 2002; Chen, 2008).

2.2.Sediment Transport Module

Sediment transport module determines the sedimentation, resuspension, transport of cohesive and non-cohesive sediments and the consequences of this transport. The resuspension and sedimentation mechanisms both depend on the shear stress at the water and sediment interface. Calculation of the base shear stress is an integral part of the sediment transport process (Ziegler and Nisbet, 1994, Young et al., 2014).

2.3.Governing Equation for Sediment Concentration

Three-dimensional advection and dispersion equation (k = 1,2) for sediment transport (HydroQual, 2002; Wanquan et al., 2015),

$$\frac{\partial C_k}{\partial t} + \frac{\partial UC_k}{\partial x} + \frac{\partial VC_k}{\partial y} + \frac{\partial (W - W_{S,k})C_k}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x}\left(A_H \frac{\partial C_k}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(A_H \frac{\partial C_k}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_H \frac{\partial C_k}{\partial z}\right) \quad (1)$$

where,

U, V, W : 3-D velocity vector

C_k: sediment concentration

$W_{S,k}$: settling velocity

A_H: horizontal diffusion

K_H: vertical eddy diffusion

boundary conditions,

$$K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} = 0 \, , z \to \eta \quad (2)$$

$$K_H \frac{\partial C_k}{\partial z} = E_k - D_K \, , z \to -H \quad (3)$$

E_k: resuspension flux.

D_k: sedimentation flux.

η: distance from a given point to the water surface.

H: bathymetric depth from a given point to the bottom.

3. Application

In this study, the behavior of cohesive sediments entering the Eastern Black Sea from the Fol River in the marine environment has been investigated for different parameters. The effect of the change in the amount of cohesive sediment entering the sea from the Fol River on the advection and dispersion areas of the cohesive sediments in the marine environment was investigated. By changing the direction of arrival of the dominant wind to the North-west and South-west, the accumulation and deposition areas of cohesive sediments have been investigated. The behavior of cohesive sediments in the marine environment was investigated by increasing or decreasing sediment drift velocity. In this study, the amount of cohesive sediment entering the sea from the river is arbitrary values based on previous studies.

The behavior of cohesive sediments in the marine environment has been investigated if the wind direction is northwest, the sediment drift velocity is kept low and the amount of cohesive sediment entering the sea from the river is changed.

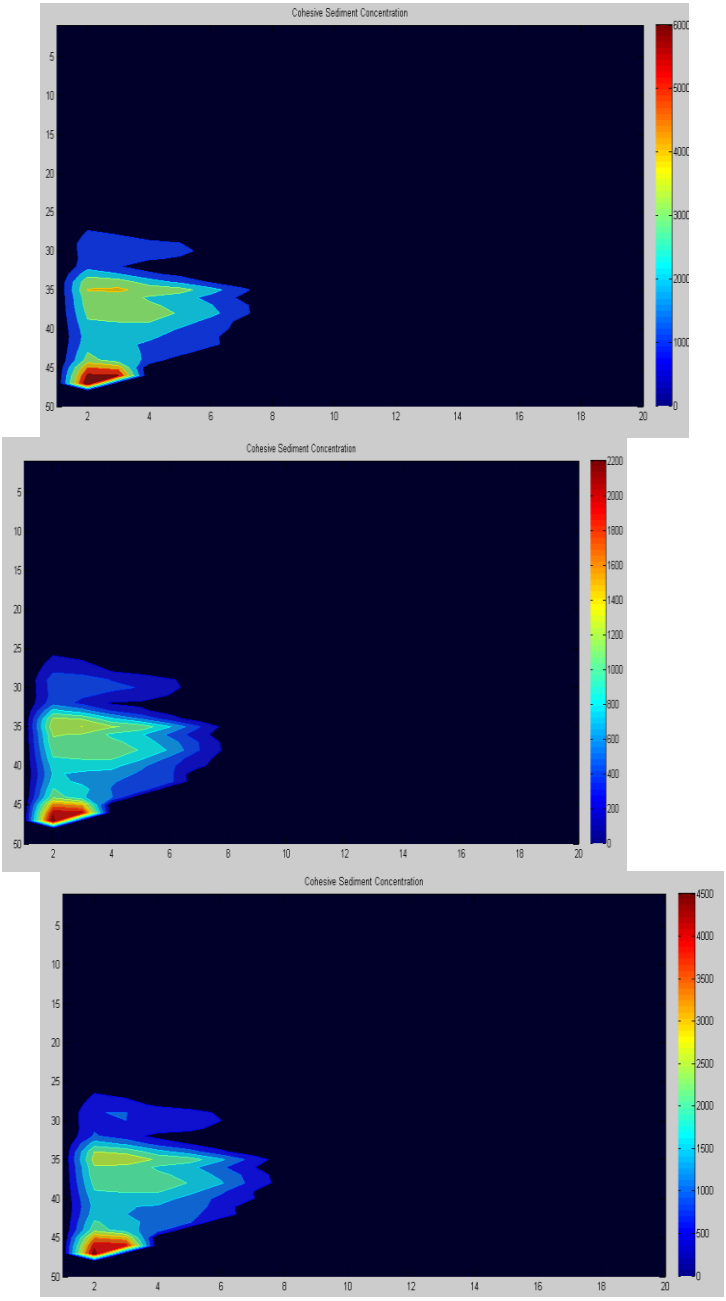


Figure 1. Increasing the amount of cohesive sediment entering the sea while other parameters are fixed.

If the sediment drift rate is kept constant and the amount of cohesive sediment entering the sea is increased in a period with a dominant northwest wind, the cohesive sediments accumulate in dense amounts in front of the river entrance. The reason for the dense accumulation of cohesive sediments in front of the stream entrance is the low sediment drift velocity and the dominant northwest winds. Low sediment drift velocity means that the flow velocity of the stream is low. The low flow velocity causes the cohesive sediments to accumulate in coastal areas.

If only the sediment drift velocity is changed by keeping the direction of the wind in the northwest and the amount of cohesive sediment entering the stream, the fate of the cohesive sediments in the marine environment is examined.

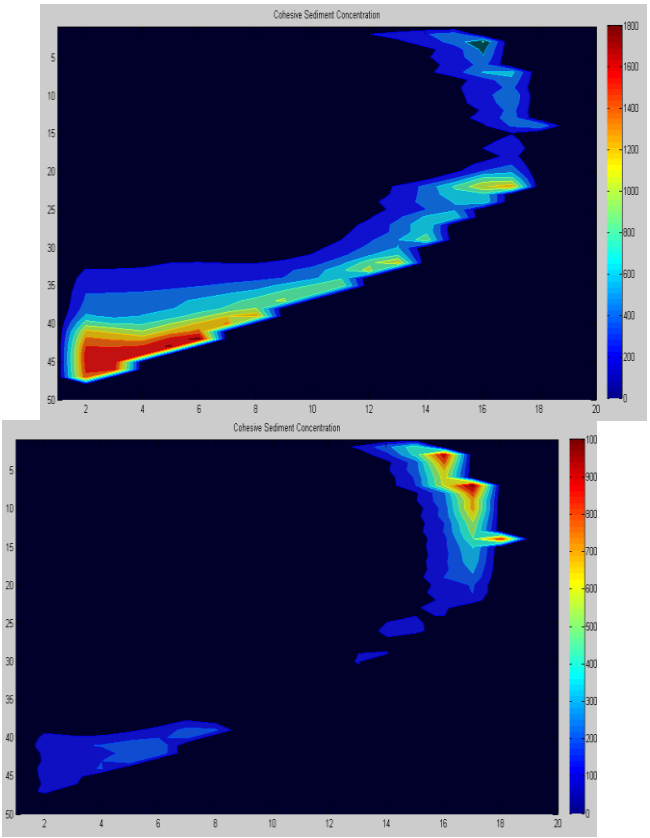


Figure 2. The situation in which only sediment drift velocity is increased by keeping other parameters constant.

The direction of the wind is kept constant as northwest. The amount of cohesive sediment entering the sea from Fol River is kept constant at 250 mg / L. When the sediment drift velocity (flow rate of the river) is increased, cohesive sediments entering the sea accumulate in the regions close to the coastal areas and in the eastern part of the river entrance. If the sediment drift velocity is increased, the greater the effect of the west-east flow in the Eastern Black Sea. Therefore, cohesive sediments entering the sea move towards the east side of the river entrance. They accumulate in coastal areas with the effect of the wind.

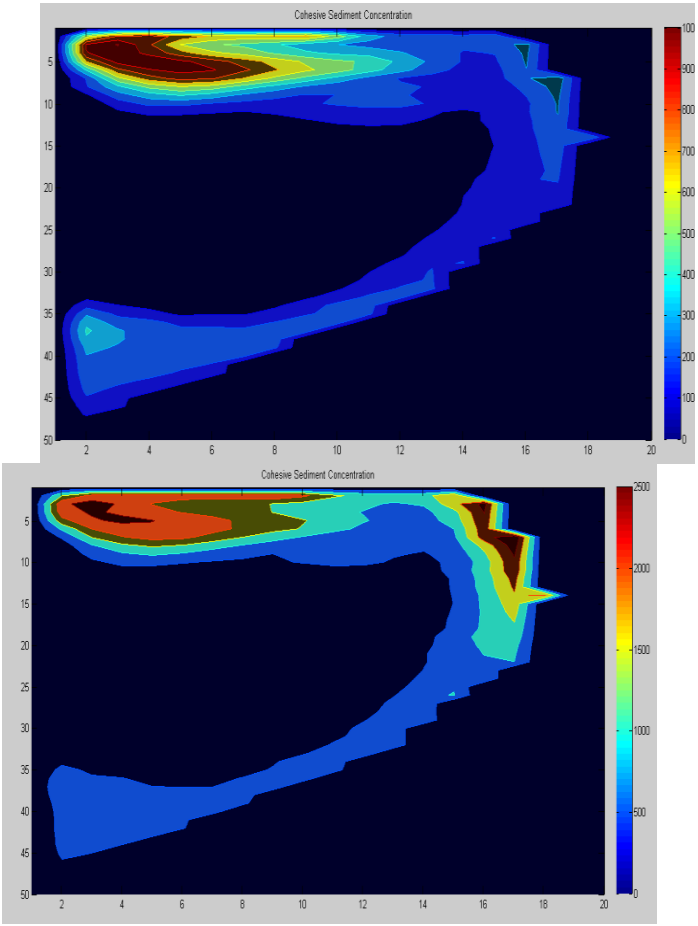


Figure 3. The situation where the direction of the wind is south-west.

The direction of the wind was determined as southwest. If the amount of cohesive sediment entering the sea is increased by keeping the sediment drift velocity constant, the cohesive sediments in the marine environment accumulate in the offshore and in the eastern part of the river entrance. As the amount of cohesive sediment entering the sea is increased, the accumulation areas of cohesive sediments do not change, only the amount of accumulation changes. The reasons for the accumulation of cohesive sediments in the offshore are the direction of the wind and the sediment drift velocity.

4. Conclusions

In this study, the behavior of cohesive sediments entering the Eastern Black Sea from Fol River under different parameters were investigated. It has been determined that the sediment drift velocity is the parameter that most affects the accumulation areas of the cohesive sediments in the marine environment. As the sediment drift velocity is increased, cohesive sediments in the marine environment accumulate in the eastern part of the river entrance and in the coastal areas. Another parameter that affects the accumulation areas of cohesive sediments in the marine environment is the direction of the wind. Northwest wind is effective wind in the Eastern Black Sea Region. North-west directed wind causes the accumulation of cohesive sediments in coastal areas. Since the current in the Eastern Black Sea is from west to east, cohesive sediments move towards the eastern part of the river entrance.

Thanks to transport models, the behavior of sediments in the marine environment under different parameters can be determined, and measures can be taken against natural events such

as possible shoreline advance and coastal erosion. Transport models help determine the locations of coastal structures such as breakwaters and seawall.

References

Berkün, M., Anılan, T. ve Aras, E., 2010. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde Sediment Taşınması ve Kıyı Erozyonu Etkileşimleri, Türkiye Mühendislik Haberleri (TMH), 3,4, 461-462.

Chen, W. B., 2008. Suspended Sediment Transport in the Offshore Near Yangtze Estuary, Journal of Hydrodynamics, 20,3 ,373-380.

HydroQual, Inc., 2002. A primer for ECOMSED Manual, version 1.3, USA.

Kankal, M., 2004. Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımının Zamansal Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Lick, W., Lick, J. ve Ziegler, C.K., 1994. The Resuspension and Transport of Fine-Grained Sediments in Lake Erie, J. Great Lakes Res., 20, 4, 599-612.

Ülger, M., 2006. Kıyı Boyu Sediment Taşınmasının Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Young, S.L., Jin, K.K., Jong, W.K. ve Sei, S.H., 2014. Evaluation of Suspended-Sediment Sources in the Yeongsan River using Cs-137 After Major Human İmpacts, Quaternary International,344, 64-74.

Wanquan, T., Haibin, W. ve Xiaopeng, J., 2015. Suspended Sediment Transport Response to Upstream Wash-load Supply in the Sand-bed Reach of the Upper Yellow River, China, Journal of Hydrology,528, 562-570.

Ziegler, C.K. ve Nisbet, B.S., 1994. Fine-Grained Sediment Transport in Pawtuxet River, Rhode Island, ASCE J. Hyd. Engr., 120 (5),561-576.

Aksaray İli (Merkez) Evsel Atık Su Karakteristiğinin ve Debisinin Belirlenmesi

Seren ER ALTIN*[1,a], Doç. Dr. Emine BAŞTÜRK*[2,b]

[1]*Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 68100, Aksaray*

[2]*Aksaray Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma Teknolojileri Bölümü, 68100, Aksaray*

Öz

Atık su analizleri ve atık su debisinin ölçülmesi sayesinde bir şehrin ya da bölgenin atık su karakteristiğinin bilinmesi ile; o bölgenin nüfusu, bölgede yaşayan kişilerin ekonomik durumları ve sosyo-kültürel yaşam standartları, bölgenin hangi alanlarda kullanıldığı (tarım, hayvancılık, sanayi vb.) gibi birçok konuda veriler elde edilebilir. Aksaray Merkez'de şu an bir atık su arıtma tesisi bulunmamaktadır. Kurulacak olan tesisin karşılaşabileceği sorunları önceden belirleyebilmek için Aksaray İl Merkezi, 12 farklı bölgeye ayrılarak her bölgenin atık su karakteristiği ve atık su debisi, uygun bulunan kanalizasyon bacalarından alınan örnekler ile belirlenmeye çalışılmaktadır. Kentsel atık su karakteristiğinin belirlenebilmesi için Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOI), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOI), Askıda Katı Madde (AKM), Yağ ve Gres, Toplam Azot, Toplam Fosfor, pH, Sıcaklık, İletkenlik ve Çözünmüş Oksijen (ÇO) analizleri yapılmaktadır. pH, Sıcaklık, İletkenlik ve ÇO parametreleri yerinde ölçülmektedir. Numune alma ve analizler TS ve Standart Metotlara göre yapılmaktadır. Analiz çalışmaları ile debi belirleme ölçümleri; yılın belirlenen zamanlarında, aynı kanalizasyon bacalarından ve aynı günlerin aynı saatlerinde birlikte yürütülmektedir. Yapılan bu çalışmada, Aksaray İl Merkezi'nde bulunan 12 farklı ölçüm noktasındaki bazı bölgelerde nüfus başına düşen atık su debisinde ve atık su karakteristiğinde belirgin farklılıkların bulunduğu belirlenmektedir.

Atık su arıtma tesisleri yapımı öncesinde, tesislerin verimli, eksiksiz ve doğru bir şekilde çalışmasını sağlamak ve işletme problemlerinin en aza indirilmesi amacıyla bu çalışmaların yapılarak atık su miktar ve karakteristiğinin belirlenmesi, yapılacak olan atık su arıtma tesisinde oluşması muhtemel sorunların hızla giderilmesi açısından oldukça önemlidir. Bu sayede büyük çabalar sonucu yapımı tamamlanan atık su arıtma tesisleri uzun yıllar boyunca verimli şekilde çalışabilecek ve çevre sağlığı kapsamında büyük katkı sağlayacaktır.

Anahtar kelimeler: Atık Su karakteristiği, Atık su arıtma tesisleri, Debi,

Abstract

By knowing the wastewater characteristics of a city or region using wastewater analysis and measuring wastewater flow; data can be obtained on many subjects such as the population of the region, the economic conditions and socio-cultural living standards of the people living in the region, in which areas the region is used (agriculture, animal husbandry, industry, etc.). There is currently no wastewater treatment facility in Aksaray Center. To determine the facility's problems to be established, Aksaray City Center is divided into 12 different regions and the wastewater characteristics and wastewater flow rate of each region are trying to be determined with samples taken from the appropriate sewer chimneys. Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Suspended Solids (AKM), Oil and Grease, Total Nitrogen, Total Phosphorus, pH, Temperature, Conductivity and Dissolved Oxygen (DO) analyzes are performed to determine the characteristics of urban wastewater. . pH, Temperature, Conductivity

and DO parameters are measured on-site. Sampling and analysis are made according to TS and Standard Methods. Measurements to determine flow rate with analysis studies; It is carried out together at specified times of the year, from the same sewer manholes and at the same hours of the same days. This study determined that there are significant differences in wastewater flow per population and wastewater characteristics in some regions at 12 different measurement points in Aksaray City Center.

Before the construction of wastewater treatment facilities, it is very important to determine the amount and characteristics of the wastewater by conducting these studies to ensure that the facilities operate efficiently, completely, and correctly and to minimize the operational problems, to quickly eliminate the possible problems that may occur in the wastewater treatment plant to be built. In this way, wastewater treatment plants, which are completed as a result of great efforts, will operate efficiently for many years and make a great contribution to environmental health.

Anahtar kelimeler: Wastewater characteristics, Wastewater treatment plant, Flow rate,

1. Giriş

Yeryüzünün ¾'ü sularla kaplıdır. Su canlıların vücudundaki pH dengesinin korunması, hücrelerindeki moleküllerin ve organellerin dağılma ortamının oluşturulması, besinlerin taşınması gibi hayati roller üstlenmektedir. Bu nedenle susuz bir hayat düşünülemez. Ancak dünya üzerinde nüfus artışı, içilebilir suların kirlenmesi ve çevre bilincinin yaygınlaşmaması gibi sebeplerle su miktarında azalmalar ortaya çıkmaktadır. Bunun sonucunda da çevreye zarar veren ve içme sularını kirletebilen atık suların azaltılarak çevreye etkilerinin ortadan kaldırılması hedeflenmektedir (Yıldırım N., 2016; Sakarya). Ayrıca teknolojik gelişmeler sonucunda atık suyun arıtılarak yeniden kullanımına imkân sağlanması söz konusudur.

Atık su; her türlü üretim ve tüketim işleminde kullanıldıktan sonra alıcı ortama geri verilen veya üretim işlemi sırasında ortaya çıkan ve genellikle herhangi bir arıtım işlemi yapılmaksızın kullanımı mümkün olmayan sulardır (Ulusoy H.İ., 2007; Malatya). Atık sular, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç tür kirlilik gösteriler. Suyun fiziksel özelliklerinin değişmesi (renk, koku, tat, bulanıklık, sıcaklık, pH v.s) fiziksel kirliliğine neden olur. Kimyasal kirlilik, genellikle sanayi atıklarının arıtımsız olarak sulara verilmesi sonucunda oluşur. Biyolojik kirlilik ise, atık suda bulunan zararlı ve fazla sayıda mikroorganizmaların oluşturduğu kirliliktir (Tan A., 2006; Edirne).

Atık su arıtımı; suların çeşitli kullanımlar sonucunda atık su haline dönüşerek yitirdikleri fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazanabilmek ve/veya boşaldıkları alıcı ortamın doğal fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek hale getirebilmek için uygulanan fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemlerdir (Akyürek E., 2009; Ankara).

Atık suların arıtılarak doğaya zararsız hale getirilmesi için birçok işlem ve prosesten geçirilmesi gerekmektedir. Atık su arıtma tesislerini planlamak için; debi belirleme, arıtılabilirlik (nitelik) çalışmaları, akım şemalarının ortaya konması ve boyutlandırma esnasında yapılacak herhangi bir hata, ancak tesis işletmeye alındığı anda ortaya çıkmaktadır. Anlaşıldığı anda da gerekli rehabilite çalışmalarını yapmak çok zor, bazen de imkânsız olmaktadır. Atık su arıtma tesislerine gelebilecek atık su miktarlarını, üretime ve mevsimsel değişimlere bağlı olarak doğru bir şekilde belirlemek çok önemli bir husustur. Anlık, saatlik ve günlük debi salınımlarının doğru

olarak belirlenememesi arıtma tesisinin kuruluş ve işletme aşamalarında büyük problemlere neden olabilmektedir (Yazıcı Y.E., 2016; Kayseri).

Kurulması planlanan atık su arıtma tesislerinin tasarımında ve maliyetlerin belirlenmesinde önemli esaslar olan; atık suyun kompozisyonunun belirlenmesi, atık suyun miktarlarının ve kirlilik yüklerinin hesaplanması, belirlenen kirlilik yüküne ve deşarj standartlarına göre arıtma teknolojisinin seçilmesi ve planlanan tesisin maliyet hesabının yapılması gibi ilkelerin belirlenmesi için bu çalışmaların yapılması gerekmektedir.

2. Materyal ve Metot

Yapılan çalışmada; Aksaray'ın mevcut atık su karakteristiğinin öğrenilmesi ile birlikte, yapılacak atık su arıtma tesisine gelecek olan atık suyun miktarı ve içeriği belirlenmiştir. Atık su arıtma tesisleri kurulumundan sonra çoğu zaman işletme problemleri yaşayabilir. Bunun nedeni gelen atık su miktarının ve içeriğinin tam olarak belirlenememesi ve tesisteki ünitelerde problemler yaratmasıdır. Bu çalışma; Aksaray'ın atık suyunun, kanalizasyon şebekelerinden 1 sene boyunca takip edilerek, Debi Ölçümlerinin yerinde belirlenmesi ile Atık Su Niteliğinin laboratuvar ortamında bazı deneyler uygulanarak incelenmesi şeklinde yapılmıştır. Tüm bu incelemeler sonucunda Aksaray'ın atık suyu hakkında net bilgiler öğrenilerek, Atık su Arıtma Tesisi kurulduktan sonra işletme problemlerinin minimum düzeye indirilmesi ve olası bir problem kaynaklandığında çözümün hızla uygulanması hedeflenmiştir.

Bu çalışmanın hazırlanmasında; Debi Ölçümleri için saha çalışmaları ve Nitelik Belirleme için laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Debi Ölçümleri için belirlenen kanalizasyon bacalarından, belirli zamanlarda (hava durumu ve nüfus durumları göz önüne alınarak) atık suyun miktarı, hızı ve şebekenin doluluk tespitleri yapılmıştır. Bu ölçümlerde; hız, seviye ve mesafe belirlemek için bazı araçlar kullanılmış, sonuçlar bilgisayar ortamında AutoCAD programı ile bulunmuştur. Nitelik Belirleme çalışması için ise; belirlenen kanalizasyon bacalarından atık su numuneleri alınarak Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bazı deneylerin uygulanması ile yapılmıştır. Nitelik Belirleme çalışmaları da Debi Ölçümlerinde olduğu gibi mevsimsel değişimler göz önüne alınarak uygulanmıştır.

2.1. Nitelik Belirleme Çalışmaları

Nitelik belirleme çalışmalarında; belirlenen 12 kanalizasyon bacasından 2020 yılı Ocak, Mayıs, Ağustos ve 2021 yılı Şubat aylarında alınan atık su numunelerinin laboratuvarda incelemesi yapılmıştır. Yapılan deneylerde; $BOİ_5$, KOİ, AKM, TKN, TP, Yağ Gres, Ph, Sıcaklık, İletkenlik ve Çözünmüş Oksijen değerleri belirlenmiştir.

2.2. Debi Ölçüm Çalışmaları

Debi ölçüm çalışmalarında; belirlenen 12 kanalizasyon bacasında 2020 yılı Ocak, Mayıs, Ağustos ve 2021 yılı Şubat aylarında anlık olarak debi ölçümleri yapılmıştır. Birbirine yakın iki kanalizasyon bacası arasındaki mesafe ölçülmüş, su seviyesi belirlenmiş ve hesaplamalar yapılarak baca içerisindeki debi hesaplanmıştır.

3. Bulgular

3.1. Nitelik Çalışmaları

Aksaray İl Merkezine ait atıksu debisinin ve karekteristiğinin belirlenmesi amacıyla bir yıl boyunca kanalizasyon hatlarında gözlem çalışması yürütülmüştür. Gözlem çalışmasında 12 farklı bacada debi ölçümleri gerçekleştirilmiş ve aynı günlerde atıksu numunesi alınarak analizleri yapılmıştır. Numuneler 3'er aylık periyotlarda, yağışlı ve kurak dönemlere dikkat edilerek farklı hava koşullarında alınmıştır. Şehir kanalizasyon sisteminindeki 12 farklı noktadaki bacalardan Ocak 2020, Mayıs 2020, Ağustos 2020 ve Şubat 2021 tarihlerinde numune alma işlemi gerçekleştirilmiştir (Fotoğraf 1).



Fotoğraf 1. Numune Alma Görüntüsü

Numune alma noktaları Tablo 1'de verien numuneler, belirlenen standartlara göre anlık olarak alınmıştır. Standartlara göre numuneler plastik kaplarda, özel numune taşıma çantalarıyla en kısa sürede laboratuvara taşınmıştır. Laboratuvara taşınan numuneler, $4 \pm 2\ ^{0}C$' de muhafaza edilerek en kısa sürede analiz edilmiştir. Ayrıca numune alınan bacaların bulunduğu noktada anlık olarak pH, İletkenlik, Çözünmüş Oksijen ve Sıcaklık ölçümleri yapılmıştır.

BACA NO		**Kanalizasyon Bacalarından Numune Alma Yerleri**
	Koordinatları	**Adı**
G1	4248643.21 X 584592.28 Y	Güney Kollektör çıkışı, Aratol
G2	4248494.42 X 584716.42 Y	Tacin Mahallesi çıkışı, Aksaray Eğitim ve Araştırma Hastanesi arkası
G4	4246719.14 X 585946.71 Y	Sebze Hali çıkışı, Hamidi Veli KYK Erkek Öğrenci Yurdu önü
G6	4245924.59 X 586867.33 Y	Yavuz Sultan Selim Mahallesi, Eski Güney Stabilizasyon Havuzları
G7	4246223.36 X 587116.10 Y	Yavuz Sultan Selim Mahallesi, Aksaray Üniversitesi Kampüs yerleşkesi karşısı
G8	4246261.51 X 587227.05 Y	Yavuz Sultan Selim Mahallesi, Aksaray Üniversitesi Kampüs yerleşkesi karşısı
G9	4246142.37 X 587164.78 Y	Yavuz Sultan Selim Mahallesi, Aksaray Üniversitesi Kampüs yerleşkesi karşısı

K1	4250177.29 X 584979.01 Y	Katı Atık Tesisi yanı, Aratol
K4	4249859.87 X 586325.40 Y	Sanayi çıkışı
K5	4251409.27 X 586231.25 Y	Toki çıkışı, Yenimahalle Camii karşısı, köprü yanı
K7	4249979.92 X 587277.76 Y	E-90 Karayolu, Haluk Aydın Kuruyemiş karşısı
K8	4250094.49 X 587315.73 Y	Nakkaş Mahallesi, Neslin Koleji ilerisi

Tablo 1. Numune alma noktaları koordinatları ve yerleri

Ocak 2020, Mayıs 2020, Ağustos 2020 ve Şubat 2021 tarihlerinde 12 farklı kanalizasyon bacasından alınan numunelerin analizleri Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölüm laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir (Fotoğraf 2). Analizler uluslararası belirlenmiş olan standart metotlara göre yapılmıştır. Laboratuvarda analizi yapılan parametreler ve analiz sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.



Fotoğraf 2. Laboratuvar Çalışması Görüntüsü

(OCAK 2020) AKSARAY ATIK SU KARAKTERİZASYONU

	Nokta Adı	Tarih	Saat	İletkenlik µs/cm	Sıcaklık °C	pH	Çözünmüş oksijen mg/L	AKM mg/L	$BOİ_5$ mg/L	KOİ mg/L	TKN mg/L	P mg/L	Yağ ve Gres mg/L
GÜNEY HAT	G1	28.01.2020	11:00-13:00	2250	12.70	7.18	0.47	69	110	126.06	32.84	3.32	39.20
	G2			1912	15.20	7.52	0.52	86	100	247.27	25.81	3.23	46.60
	G4			1758	13.60	8.28	0.28	466	460	601.21	111.90	10.29	86.20
	G6			1940	12.80	8.25	0.30	216	210	412.12	65.30	1.32	114.40
	G7			1648	13.80	8.47	0.26	252	360	552.73	119.95	10.15	30.40
	G8			1711		8.62	0.62	288	500	601.21	126.95	11.94	48.80
	G9			1783	12.70	7.84	1.47	34	30	72.73	11.77	1.87	30.20
KUZEY HAT	K1	4.02.2020	11:00-13:00	1565	13.10	8.40	0.34	176	240	348.72	88.15	7.92	41.40
	K4			1291	11.60	7.88	0.68	110	60	82.05	39.69	4.34	24.60
	K5			1905	13.70	8.64	0.26	352	500	707.69	125.22	10.46	140.00
	K7			1680	12.50	8.53	0.58	462	460	691.28	103.66	10.53	39.00
	K8			1748	12.60	8.50	0.48	348	460	717.95	105.50	10.81	86.20

(MAYIS 2020) AKSARAY ATIK SU KARAKTERİZASYONU

	Nokta Adı	Tarih	Saat	İletkenlik µs/cm	Sıcaklık °C	pH	Çözünmüş oksijen mg/L	AKM mg/L	$BOİ_5$ mg/L	KOİ mg/L	TKN mg/L	P mg/L	Yağ ve Gres mg/L
GÜNEY HAT	G1	5.05.2020	10:00-14:00	2580	18.40	6.71	0.08	94	70	95.52	11.20	1.83	47.40
	G2			2220	21.20	5.83	3.90	11	20	31.84	5.60	0.38	16.80
	G4			1462	17.30	7.33	0.06	55	200	262.69	25.76	1.73	35.60
	G6			2470	16.10	7.30	0.19	41	60	71.64	10.08	3.15	21.00
	G7			1439	16.90	7.59	0.04	116	250	310.45	45.92	7.81	62.80
	G8			1488	15.10	7.83	0.96	95	240	302.49	38.08	8.53	73.80
	G9			2660	16.00	7.23	1.88	16	20	31.84	6.72	0.32	66.20
KUZEY HAT	K1	5.05.2020	10:00-14:00	1559	17.20	7.62	0.16	148	250	326.37	29.12	3.10	156.80
	K4			1704	16.70	7.90	0.21	100	110	143.28	13.44	0.52	19.80
	K5			1273	16.70	7.26	0.06	276	430	573.13	56.00	8.09	104.40
	K7			1565	16.90	8.00	0.04	220	420	541.29	53.76	0.78	55.60
	K8			1528	16.70	8.00	0.05	174	410	509.45	47.07	4.55	117.40

(AĞUSTOS 2020) AKSARAY ATIK SU KARAKTERİZASYONU

	Nokta Adı	Tarih	Saat	İletkenlik µs/cm	Sıcaklık °C	pH	Çözünmüş oksijen mg/L	AKM mg/L	$BOİ_5$ mg/L	KOİ mg/L	TKN mg/L	P mg/L	Yağ ve Gres mg/L
GÜNEY HAT	G1	25.08.2020	10:00-12:00	1949	26,3	6,98	x	107,5	200	244.60	20.38	23.84	4.43
	G2			1203	28,8	7,37	x	157	220	305.70	12.36	42.51	0.84
	G4			1671	32	7,71	x	315,4	420	642.10	26.79	92.59	4.17
	G6			1715	30,9	7,92	x	210	380	672.60	7.45	64.91	5.67
	G7			1893	25,7	8,10	x	142	380	458.60	22.19	75.58	6.42
	G8			1820	25	8,28	x	222	540	560.30	51.21	113.41	4.80
	G9			1822	20,8	7,44	x	618	300	794.90	11.13	45.42	8.09
KUZEY HAT	K1	25.08.2020	13:00-15:00	1605	30,2	7,70	x	324	440	764.30	16.20	67.34	23.03
	K4			1617	28,9	7,58	x	346	160	382.20	9.48	33.83	0.15
	K5			1603	28,1	7,66	x	344	540	978.30	14.96	43.10	15.20
	K7			1342	31	7,57	x	334	460	642.10	14.66	44.35	13.54
	K8			1477	29	7,50	x	313	440	856.10	13.74	45.27	0.50

(ŞUBAT 2021) AKSARAY ATIK SU KARAKTERİZASYONU

	Nokta Adı	Tarih	Saat	İletkenlik µs/cm	Sıcaklık °C	pH	Çözünmüş oksijen mg/L	AKM mg/L	$BOİ_5$ mg/L	KOİ mg/L	TKN mg/L	P mg/L	Yağ ve Gres mg/L
GÜNEY HAT	G1		10:00-12:00	2017	15.70	7.27	0.43	166	110	146.48	7.84	2.93	87.80
	G2			1793	15.20	7.54	1.18	294	160	206.57	13.44	2.98	105.60
	G4			1584	15.60	8.08	0.34	314	460	615.96	44.80	2.47	48.80
	G6			1778	13.70	7.93	0.30	132	180	214.08	11.20	4.64	162.10
	G7			1336	14.30	8.24	0.12	102	170	236.62	17.92	3.16	51.00
	G9			1823	14.80	7.53	0.75	14	20	29.30	5.60	1.60	29.30
KUZEY HAT	K1		13:00-15:00	1524	4.40	7.94	0.34	310	200	100.00	13.44	4.10	100.00
	K4			1358	10.80	7.73	1.59	126	110	91.90	8.96	2.74	91.90
	K5			1887	12.40	8.46	0.30	240	400	132.20	25.76	5.36	132.20
	K7			1458	15.40	8.38	0.53	302	500	170.20	43.68	1.31	170.20
	K8			1721	15.40	8.63	0.64	396	600	150.00	50.40	5.15	150.00

Tablo 2. Yapılan Tüm Analiz Sonuçları

BACA NO	Parametrelerin Ortalama Değerleri				
	BOİ$_5$ mg/L	**KOİ** mg/L	**AKM** mg/L	**TKN** mg/L	**TP** mg/L
G1	123	153	109	18	8
G2	125	198	137	14	12
G4	385	530	288	53	26
G6	208	342	150	23	18
G7	290	389	153	51	24
G8	427	488	202	72	44
G9	25	54	21	9	12
K1	283	417	240	37	20
K4	110	186	171	18	10
K5	468	681	303	56	17
K7	460	630	330	54	14
K8	478	697	308	54	16

Tablo 3. Nitelik için ölçülen parametrelerin ortalama değerleri

Tüm bu değerlere bakılarak; Analiz sonuçlarındaki KOİ, BOİ5 ve AKM parametrelerinin ortalama değerleri, evsel atıksuların özellikleri ile karşılaştırıldığında, atıksudaki kirleticilerin konsantrasyonlarına bağlı olarak atıksuyu, orta sınıf kirlilikteki atıksu olarak değerlendirmek mümkündür.

3.2. Debi Çalışmaları

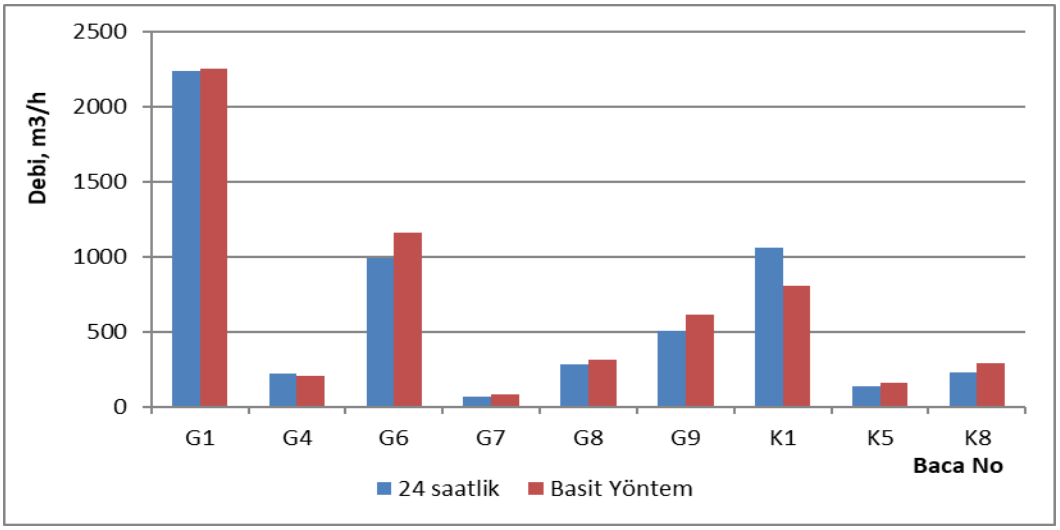
Koordinatları Tablo 1'de verilen kanalizasyon bacalarında, nitelik belirleme çalışmaları ile birlikte atıksu debisinin belirlenmesi için debi ölçüm çalışmaları yürütülmüştür. Çalışmalar manuel yapılmasının yanı sıra 1 defaya mahsus olmak üzere Şubat 2020 tarihinde özel bir laboratuvar tarafından da debimetre ile 24 saat boyunca ölçülmüştür. Iki metottaki debi ölçüm çalışmaları da eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir (Fotoğraf 3).



Fotoğraf 3. Debimetre ile 24 Saatlik Debi Ölçüm Görüntüsü

Şubat 2020'den sonraki ölçümler manuel yani basit ölçüm yöntemi ile ölçülmüştür. Basit yöntemde kanalizasyon sistemindeki iki baca arasındaki mesafe ve atıksuyun borudaki seviyesi ölçülerek bu mesafeyi ne kadar bir sürede aldığı belirlenerek hız tespiti yapılmıştır.

Hız; V (m/s) = X / t formülünden hesaplanmıştır. Kanalda su seviyesinin (h) ölçülmesi sonucu debi; AutoCAD programı kullanılarak Q = V x h formülünden hesaplanmıştır. İki yöntemin sonuçları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Firma ölçümü ve basit yöntem sonuçlarının karşılaştırılması

Şekil 1'deki grafik incelendiğinde aynı bacada yapılan iki farklı debi ölçümü yöntemi sonucunda elde edilen değerler birbirleriyle yaklaşık aynı olarak bulunmuştur. İki yöntem arasında elde edilen bu sonuçlar ve hata payları kabul edilebilir düzeydedir. Yapılan tüm debi ölçüm sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir.

	Özel Lab.	**Belediye Personeli Tarafından Basit Yöntem Ölçüm**

Numune Kodu	Şubat 2020	Şubat 2020	Mayıs 2020		Ağus. 2020	Şubat 2021
	24 saatlik Ort. Debi (m^3/saat)	Mırıklı Anlık (m^3/saat)	Mırıklı Anlık (m^3/saat)	Mırıksız Anlık (m^3/saat)	Mırıksız Anlık (m^3/saat)	Mırıksız Anlık (m^3/saat)
G1	2237,39	2251	2678	2313	1181	2075
G3		2384	3383	2572	1333	2132
G4	219,08	207	189	174	168	177
G5		2093	2160	2026	1247	1992
G6	991,37	1160	1357	1045	590	425
G7	67,83	78,98	91	73	70	88
G8	284,12	313	298	289	337	-
G9	502	610	1036	948	-	-
G10		1062	1269	842	523	515
G11		933	1147	808	420	358
K1	1062,04	808	844	507	483	410
K2		71	85	62	51	45
K4		71	85	62	51	45
K5	135,75	162	428	239	118	123
K6		466	466	424	450	399
K8	230,66	288	261	174	260	303
K9		125	117	78	93	82

Tablo 4. Tüm Debi Ölçüm Sonuçları

Tablo 4'te debi sonuçları incelendiğinde yapılan ölçüm sonuçlarına göre tüm kanalizasyon bacalarında maksimum debinin Mayıs 2020 tarihinde, minimum debinin ise Ağustos ayında gerçekleştiği görülmektedir. Bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü Mayıs ayında yağış sonrası ölçüm yapılmıştır. Ağustos ayında ise yağış olmayan kurak dönemde ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Mayıs 2020'de debi ölçümü öncesi 5 gün boyunca yağmur yağmış ve yağışlı mevsimi temsil etmesi açısından özellikle yağmur yağıp sona erdikten sonraki ilk günde debi ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Mayıs ayında debinin maksimum çıkmasının ana nedenlerinden biri yüzeysel akış ve yeraltı akışı (sızma) faktörleridir. Yüzeysel akış, yağmur suyu borularından ve caddelerdeki baca kapakları, ızgaralar gibi yerlerden atıksu şebekesine girmektedir. Boruların birleşim noktalarından ve çatlaklarından kanalizasyon sistemine dahil olan yeraltı suyu akımına da yüzey altı akışı (sızma) denir. Yüzeysel akış ve sızma kanalizasyon hatlarındaki atıksuların seviyelerinin artmasına neden olan başlıca nedenlerdir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

- Yeraltı suyu seviyesinin yüzeye yakın olan bölgelerdeki atıksuyu toplayan G9 bacasında yapılan Mayıs ayı ölçümlerinde atıksuyun oldukça seyreltik olduğu gözlenmiştir. Bu durum tesis işletmesinde arıtımı gerçekleştiren mikroorganizmaların besi elementlerinin azalmasına sebep olur. Bu durum dışarıdan besi takviyesi yapılmasına ve dolayısıyla işletme maliyetinin artmasına sebep olur.

Öneri; G9 noktası gibi tespit edilen noktalarda yeraltı suyuyla atıksuyun birbirinden ayrılarak, atıksu mikroorganizmalarının kaybının önlenmesi ve ayrı toplanan yeraltı suyunun yağışlı mevsimlerde bir vana ya da otomasyon sistemi ile ayrı toplanarak karasu deresine direk deşarjının sağlanması, her iki suyun da arıtımı için daha iyi olacaktır.

- Yağ ve gres, sanayiden kaynaklı olarak atıksu sistemine girmektedir. Mevcutta Kuzey hatta bağlı olan sanayi bölgesinin taşınacak olması, bu atıksuların Güney hatta bağlanacağını göstermektedir.

Öneri; Yağ ve gres parametresi için sanayi kanalizasyonları Güney hatta bağlandıktan sonra atıksu özelliklerinin Güney hatta takip edilerek, tesise gelecek olan atıksu özellikleri bozulduğunda sanayi için bir ön arıtım yapılması gerekebilir.

- BOİ ve KOİ parametreleri, mevsimsel değişimlere göre bir anda noktalarda izlendiği değerlerden daha fazla gelmeye başlayabilir. Bunun nedeni atıksuya fazla organik atık gelmesinden kaynaklıdır.

Öneri; bu parametreler atıksuya daha fazla giriş yapmaya başlarsa, tesisin işletme aşamasında, ünitelerde küçük değişimler yapılarak sorun büyümeden çözülebilir. Örneğin; arıtma tesisi havuzlarındaki bekletme süreleri ya da mikroorganizmalar yeniden düzenlenerek sorunun önüne geçilebilecektir.

- Yağmursuyu ve atıksuyun birlikte toplandığı birleşik sistem kanalizasyonlarda yağışın artmasıyla atıksu olması gerekenden fazla seyrelebilir. Bu atıksu arıtma tesisi için olumsuz bir durumdur. Çünkü atıksu arıtımının yeterince iyi yapılabilmesi için, atıksudaki azot ve fosfora, yani besi elementlerine ihtiyaç vardır. Besi elementleri olmadan mikroorganizmalar iyi bir arıtım gerçekleştiremezler. Atıksuyun seyrelmesi besi elementlerinin azalmasına neden olur.

Öneri; yağmursuyu sistemlerinin yapılması atıksu ve yağmursuyunun ayrı toplanmasını sağladığı için hem atıksuyun seyrelmesini önler, hem de kanalizasyon hatlarının yükünü hafifletir. Toplanan yağmursularının ayrı bir deşarj sistemiyle kanala verilmesi, atıksuyun ise tesise gelmesi daha kaliteli bir arıtım yapılmasını sağlayacaktır.

- Atıksu arıtma tesisine gelen debide de, mevsimsel değişmeler ya da su kullanımının artıp azalmasından dolayı bir anda değişimler meydana gelebilir. Tesise gelen debi yükünün artması veya azalması tesis çalışmasında sorunlara sebep olabilir.

Öneri; tesise gelen debi yükünün artması veya azalması sonucu işletme problemlerinin yaşanmaması için pompa verimlerinde veya pompa çalışma sürelerinde düzenlemeler yapılarak sorunların önlenmesi sağlanabilecektir.

Teşekkür / Katkı Belirtme (*Gerekli durumlarda veya tercihen kullanılır*)

Aksaray Belediyesi Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü'ndeki tüm ekip arkadaşlarıma katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Kaynaklar

İlhan, A. S. (2019). *Filyos Nehri'ndeki askıda katı madde miktarının yapay sinir ağları ile belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak.

Yıldırım, N. (2016). *Sakarya ili kentsel atık su arıtma tesisinin koliform bakteri giderim veriminin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

Ulusoy, H. İ. (2007), *Malatya atık suyunda bazı kirlilik parametrelerinin analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya.

Tan, A. (2006). *Atık sularda bazı kirlilik parametrelerinin incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

Akyürek, E. (2009). *Atık su arıtım tesislerinin model öngörmeli kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.

Selvi, E. (2019). *Kentsel atık su arıtma tesisi biyolojik oksijen ihtiyacının (BOİ5) makina öğrenmesi yöntemleri ile tahmin edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.

Yazıcı, Y.E. (2016). *Atık su arıtma tesisi performansının incelenmesi ve çıkan koi değerini etkileyen parametrelerin belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.

Üstün, G.E. (2001). *Bursa demirtaş organize sanayi bölgesi atık sularının özellikleri ve atık su arıtılabilirlik çalışmaları*, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

The Assessment of Environmental Impacts: A Case Study of a Crude Oil Refinery in Sudan

Mohammed ABDELGADİR[1,a], Gülşah YILAN*[1,b], Gökçen A. ÇİFTÇİOĞLU[1,c]
[1]Marmara University, Department of Chemical Engineering, Göztepe Campus, 34722, İstanbul, Turkey

Abstract

The oil refining industry is one of the most pollutant sectors in terms of environmental impacts due to the considerable amounts of raw materials utilized and waste produced. Hence, it is essential to adopt sustainable practices regarding environmental impacts, technical feasibility, and social impacts as well as economic costs concerning oil refineries. In the oil refining processes, the impacts of the oil upstream and downstream activities need to be further evaluated in this comprehensive perspective. This study focuses on conducting a comprehensive Life Cycle Assessment (LCA) of a crude oil processing plant in Sudan. It aims to analyze the environmental impacts of the Sudan crude oil upstream and downstream operations using an LCA methodology following the ISO14040/14044 frameworks applied via SimaPro software v.8.1.1.16. In addition to the oil refinery's current situation, a vapour recovery unit with 90% efficiency was also introduced as an alternative scenario to compare its effects on environmental sustainability scores. ReCiPe method was used in both midpoint (problem-oriented) and endpoint (damage-oriented) levels. For the endpoint level, we considered human health, ecosystems and resources impact categories. The category scores for the currently operating refinery were 1.070E4 DALY, 0.912 species.yr, and 0.00434 $ while the scores for the refinery with the recovery unit were 7.880E3 DALY, 0.804 species.yr, and 0.00395 $ respectively. On a single score basis, the overall impact for the currently operating refinery was 34.7 while the score for the refinery with the recovery unit was 29.8 kPt. The simulation results indicated that the introduction of vapour recovery units provides environmentally beneficial effects with a 14% decrease in the total environmental impact.

Keywords: case study, environmental impacts, life cycle assessment, oil refinery, vapour recovery

1. Introduction

Oil refining is one of the world's leading industries with significant environmental effects. For example, approximately 175 million metric tons (MMT) of CO_2, which means 3% of total greenhouse gases (GHGs), were emitted by U.S. refineries in 2014 (Young et al., 2019). Besides GHGs, refineries often produce hazardous atmospheric (HAP) contaminants and residual waste that contribute to the ecological burden of refining operations. According to the U.S. Environmental Protection Agency (EPA), domestic use of crude oil increased from 5.1 million BPD in 2006 to 8.9 million BPD in 2016 by 75% in the last decade. This extension of shallow oil production changes the forms of crude oil that world refineries process, which made a significant change in the environment.

The expected global challenges are climate change and energy stability. Oil is the most consumed type of energy source (which constitutes ~31.8% of the global energy consumption) (BP, 2019a). The oil and gas industry uses oil products extensively as fuel and raw materials. It is forecasted that oil will continue to play an essential role for years to come in the global energy

system (BP, 2019b). Thus, many companies need to refine their processes related to primary oil not only used explicitly for petroleum products but also other industrial processes.

Similarly, refining petroleum is not only linked to the safety of energy but also environmental pressures. Due to the oil refining stage of life cycle processing and use (including petroleum mining, transportation whether offshore or onshore, refining, and gas combustion), about 40% of ecological effects (for example, climate change, ozone destruction, human toxicity, and terrestrial ecotoxicity) are significantly affecting the environment (Morales et al., 2015). All the above problems and destructions to the environment are caused by refinery and oil production.

Sudan is one of the world's largest massive oil countries and, behind Nigeria and Angola, is the third-largest petroleum country in Africa (World Bank, 2008). According to IHS Market Global Refineries Database, there are two kinds of oil refineries and three plants in Sudan (complex refinery, and less complex refinery). But the Khartoum (Al-Jaili) refinery and the Al-Obeid tower plant are the only operational refineries. The Al-Jaili refinery, located about 45 miles from Khartoum, has an extraction capacity of 100,000 barrels per day. The refineries at Port Sudan (21,700 b/d), the top three are El-Obeid (10,000 b/d), Shajirah (10,000 b/d) and Abu Gabra (2,000 b/d). A comprehensive study of the environmental impacts of the oil refining process, especially for developing countries like Sudan, is essential to know where the most crucial impacts occur and how to enhance the ecological efficiency of refining.

Life cycle assessment (LCA) is one of the best ways of quantifying environmental impacts in all commodity, process, and activity phases. LCA was efficiently applied in many studies, as for the oil industry in Europe (Furuholt, 1995), the USA, and China, analyzed statistics of the Life cycle energy and the carbon pollution examines (e.g., gasoline, diesel, jet fuel, electricity) (Shen et al., 2006). Additional evaluations were conducted for oil transport fuels, biological fuels, and alternative manufacturing lines liquid fuels and olefins to limit GHG emissions and dependency on fossil fuels (MEEC, 2019). However, all of the analysis above has been carried out for particular petroleum products rather than making an overall refining study for oil.

Oil refining is usually considered an incorporated phase and, in previous LCA studies, cannot be defined in the sub-refining unit. Refining units are the fundamental part of a refinery, and their emission properties characterize each unit. Thus, an analysis of unit-level environmental impacts is essential to understand the root of burdens to get more tailored control steps to boost the petroleum refining industry's ecological efficiency. The knowledge obtained will highlight the right mix of different process units to minimize environmental pressures.

Against this background, this study focuses on conducting a comprehensive LCA of a crude oil processing plant in Sudan. It aims to analyze the environmental impacts of the Sudan crude oil upstream and downstream operations using an LCA methodology following the ISO14040/14044 frameworks applied via SimaPro software v.8.1.1.16. In addition to the oil refinery's current situation, a vapour recovery unit with 90% efficiency was also introduced as an alternative scenario to compare its effects on environmental sustainability scores.

2. Materials and Methods

LCA is used to help measure and analyze a product or process's environmental performance and provide the foundations for ecological improvements. Data required for LCA include each environmental impact, energy, and material used at each phase. A traditional LCA, seen in Figure 1 (ISO14044, 2006), is implemented in four consecutive stages as follows:

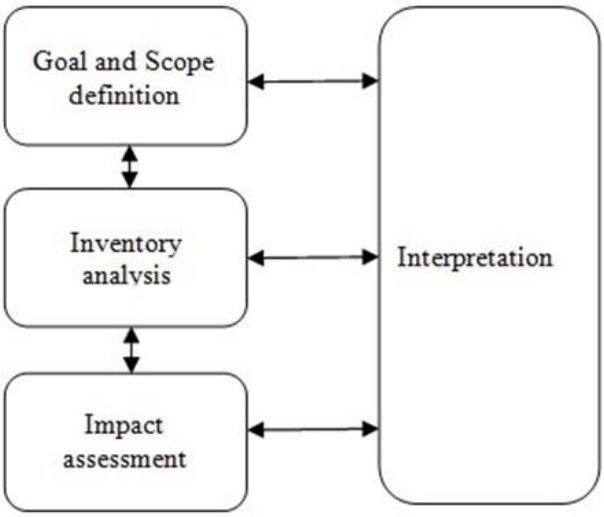


Figure 1. LCA framework (ISO 14044, 2006)

1. Goal and Scope Definition: Objective and scope shall be required for the inventory of actions deemed to have a significant environmental effect on particular processes.

2. Inventory Analysis: Inventory Analysis is a component of LCA that contain fuel or raw material (input) inventories and pollution and waste production. The inventory data is collected to assess the energy and material supply volume or to depict an industrial system and its performance.

3. Impact Assessment: To evaluate the environmental and public health effects of a quantitatively evaluated procedure in the inventory study, Impact Assessment is used. The inventory data linked to possible ecological and public health impacts put in the classification process is converted to impact scores in special categories such as human health, natural resources, and ecosystems.

4. Interpretation: The performance, assessment, and review of progress efforts are being conducted at this level (Curran, 2000). The results and discussion parts of this paper highlight the main findings along with their interpretation.

2.1. Goal and Scope Definition

The aims of this study are (i) To identify the environmental impacts associated with the Sudan crude oil refineries. Up to our knowledge, this study is a recent study that analyses an oil refinery factory located in Sudan (ii) To quantify the environmental impacts resulting from sub-refinery processes to provide a systematic understanding of the impacts of the different petroleum refinement processes. (iii) To quantify the environmental impacts of the unit refinery processes to provide a systematic understanding of the impacts of the different petroleum refinement processes. (iv) To identify the major environmental threats, units and chemicals to focus on potential controls.

Functional units have a quantified index for the inputs and outputs of a device (ISO14040, 2006). The functional unit of this analysis is one ton of crude oil to be refined and the system boundaries are depicted in Figure 2 using a cradle-to-gate approach. An additional vapour recovery unit was also introduced to collect the leakages throughout the refinery with the aim of reducing the volumes of emissions.

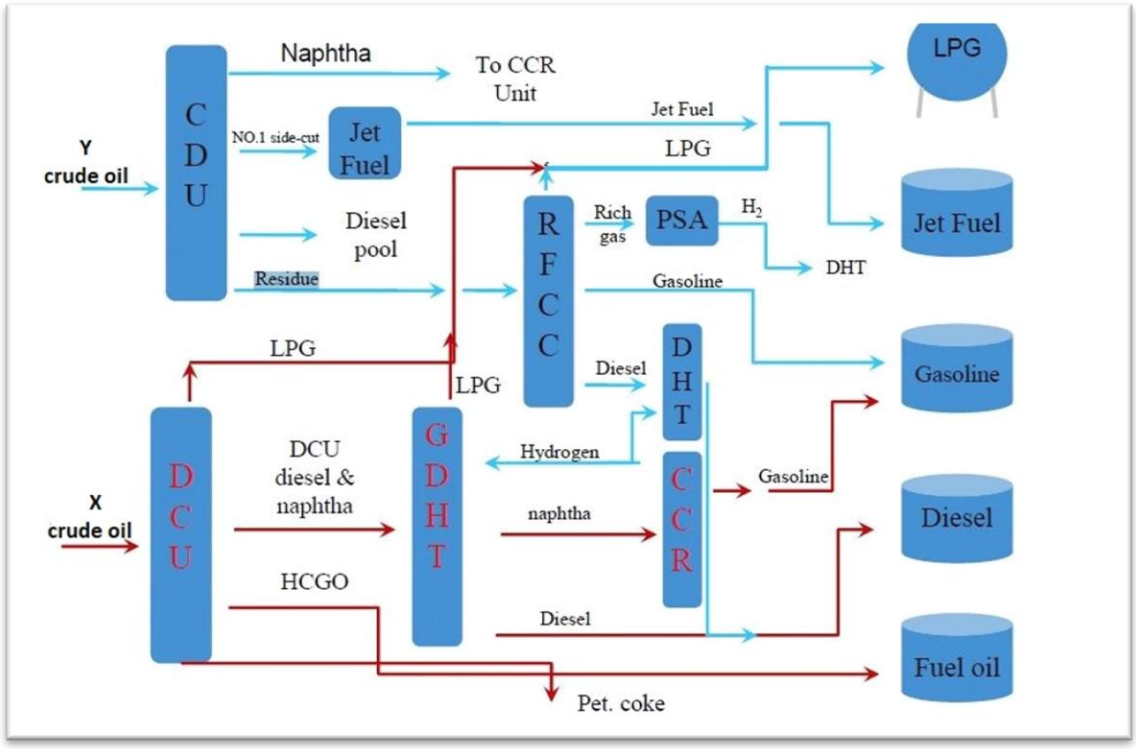


Figure 2. The system boundaries of petroleum refinery plant in Sudan

2.2. Inventory Analysis

The data used in the analysis was taken from real petroleum refinery sites and background data was compiled from the ecoinvent library when specific data cannot be gathered. The data used are normalized with respect to the production output of the oil exploration industry for one ton. SimaPro v8.1.1.16 software (Pré Consultants, 2017) is used to perform impact analysis using the introduced LCA processes.

The overall inventory data of the oil refining process is given in Table 1. The table provides a presentation of all products, energy and water use, direct pollution, and waste disposal. Refinery fuel and gas steam supplied from the refinery are also included in this analysis. The excess steam is shown with negative because it is consumed during the processing.

The operation limits start with the receipt of crude oil from discovery (X and Y crude oil) and continue with oil handling and treatment operations in storage tanks, and ends with manufactured products. The refinery units, as shown in Figure 2, include; crude distillation units (CDU), catalytic reforming (CCR), delayed coking unit (DCU), gas and diesel hydrotreatment (GDHT), residue fluid catalytic cracking (RFCC), dehydration treatment (DHT), Pressure swing adsorption (PSA) are the core refining operations (i.e., storage, blending, loading, and unloading operations).

Crude distillation unit is nearly every petroleum refineries' first processing facility, and it deals with light crude oil. Then, the CDU distils the incoming crude oil into separate bowl fractions, refined in each of the other processing units. A delayed coker unit (DCU) is the unit that deals with heavy crude oil, and it works to break the long-chain hydrocarbons into coker gas oil and oil coke. Gas and diesel hydrotreatment (GDHT) is a unit used to proper the naphtha, which comes from DCU, and that to produce the gasoline in CCR, the unit has a side product like hydrogen and LPG. Continuous Catalytic Reforming (CCR) unit is a chemical process that turns naphtha's refined in low octane petroleum refining into high octane liquid materials such as reformates is premium blending stocks of high-octane gasoline. The residue fluid catalytic

cracking unit (RFCC) is a refining unit used to convert the heavy residue hydrocarbons from DCU to light hydrocarbons of a large part of valuable oil feedstock, including LPG. Diesel Hydrotreating (DHT) is the unit that receives the diesel which comes from RFCC and CCR to remove from it the sulfur and nitrogen by using the catalysis and hydrogen, so the diesel can be ready to go to market. Pressure swing adsorption (PSA) is a mechanism that distinguishes individual gasses from a gas mixture. For example, hydrogen (H_2) from coking or conversion gasses or oxygen (O_2) and nitrogen (N_2) separate from the air are primarily used in chemical or petrochemical processes as well as in the steel industry.

Also, a hypothetical vapour recovery unit is introduced with an efficiency of 90% to see the results after using the unit and how it can decrease the environmental impacts. The vapour recovery unit involves removing the contaminated form of hazardous vapour and solvent chemicals to enhance the purity and prevent pollutants from being released into the atmosphere. Vapour removal is often undertaken to recover unwanted steam from warehouse units and keep the materials clean and safe for use and transport in the chemical manufacturing industries (Generon, 2019).

2.3. Impact Assessment

A detailed Life Cycle Assessment (LCA) defined by the ISO14040/14044 frameworks carried out via SimaPro software v.8.1.1.16. The approach used in this study for the analysis of impacts was the ReCiPe impact assessment method (Goedkoop et al., 2009). Both midpoint and endpoint approaches were adopted for this study. The midpoint process assesses compounds' environmental impact, causing changes in the ecological aspects. Meanwhile, the endpoint approach is a tool that explains ecological impacts on the environment caused by a specific substance (Menoufi et al., 2011).

The 18 midpoint categories considered in this study were human toxicity, natural land transformation, climate change, urban land occupation, photochemical oxidant formation, particulate matter formation, fossil fuel depletion, freshwater depletion, marine eutrophication, ozone depletion, terrestrial acidification, agricultural land occupation, ionizing radiation, freshwater eutrophication, freshwater ecotoxicity, mineral's depletion, marine ecotoxicity, and terrestrial ecotoxicity. The three endpoint categories were human health, ecosystems, and natural resources.

Table 1. The overall inventory for the refinery plant

Category	Substance	Unit	Amount
Material	Crudeoil	t	1.000
	Water	t	0.440
	Naturalgas	t	0.200
	NaOH	kg	0.730
	HCl	kg	0.560
	Catalyst	kg	0.540
	Corrosion inhibitor	kg	0.020
Energy	Electricity	kW	17.200
	Steam	kg	-86.980
Airemission	Methane	kg	5.000
	Ethane	kg	5.000
	Propane	kg	5.000
	PM2.5	kg	0.017
	PM10	kg	0.021
	SO2	kg	0.070
	NOX	kg	0.156
	VOCs	kg	0.343

	CO	kg	0.722
	CO2	kg	42.330
	NH3	kg	0.470
	Nickel	kg	3.120
Wateremission	Water	t	0.790
	Oils	kg	0.165
	COD	kg	12.000
	Total phosphorus	kg	0.940
	Total nitrogen	kg	2.100
	sulfide	kg	0.008
	Cyanide	kg	0.006
	Nickel	kg	0.030
	Arsenic	kg	0.001
	Methylbenzene	kg	0.017
	Ethylbenzene	kg	0.008
	Xylene	kg	0.054
	Benzene	kg	0.018
		kg	
Soil emission	Dead catalysts	kg	0.650
	Refinery sludge	kg	0.300

2.4. Interpretation

The interpretation phase entails studying the outcomes of the aim and scope, inventory analysis, and impact assessment phases to make inferences and suggestions as to the final stage of the current study. The main findings along with their interpretation are presented in the following section.

3. Results and Discussion

As mentioned above, the crude oil impact analysis was carried out by the SimaPro software v.8.1.1.16 using the ReCiPe life cycle impact assessment model (LCIA). After the inventory data was introduced to the software program, a two-level impact assessment was performed regarding the midpoint and endpoint categories mentioned earlier. First, a comprehensive discussion about the 18 midpoint category scores was provided. Then, endpoint category scores are discussed in both three main classes being human health, ecosystems, and natural resources. Finally, the representative single scores are presented.

3.1 Evaluation of the Midpoint Category Scores

Measures for characterizing midpoint categories are there on the cause-effect path, midpoint typically is that point where ecological processes are equal for any environmental flood related to this impact form. Here, the main midpoint category scores are discussed in detail.

The *climate change* category leads to major shifts that emerge over many centuries or more in global temperature, rainfall, weather cycles, and other climate indicators. *Ozone depletion* is the leakage of the ozone layer in the planet's atmosphere; due to chemical contaminants containing gaseous like Cl_2, Br_2 from manufacturing and other human activity. *Terrestrial acidification* is described by the impact on soil chemistry quality as a result of the absorption of acidifying substances (nitrogen and sulfur). *Freshwater eutrophication* is the overgrowth of aquatic plants or algae blooms due to high nutrient quantity in freshwater ecosystems like lakes, dams, and tanks. Nutrient pollution by phosphorus from fertilizer, water supply, and urban rippling of water is critical for this phenomenon. *Eutrophication of freshwater* can significantly impact fishing, aesthetic design, health care, and ecological systems. *Marine eutrophication* is the increasing abundance of a nutrient in the euphotic zone of the ocean environment. Thus, marine eutrophication indicators are not only essential parameters in terms of water quality

(concentrations of inorganic and organic nutrients, availability of oxygen, and bio-oxygen needs), but also the benthic condition and network segments such as relative coverage and growth of indicator microbes, invertebrate recruitment, and depositional oxygen supply. *Human toxicity potential* is measured based on the intrinsic toxicity of the drug and based on its dosage. The index of the potential damage of the chemical unit emitted into the atmosphere is calculated. *Photochemical oxidants* are supplementary airborne contaminants produced by the sunlight's activity on the nitrogen oxides and their precursors. These atmospheric photochemical reactions produce ozone and peroxyacetyl nitrate as the most important phytotoxic components. Table 2 below illustrates the rest of the other impact category scores and demonstrates a comparison between currently operating refinery oil in Sudan and the recovery unit's implementation on the oil refinery. For almost all of the midpoint indicators under review, the introduction of the recovery unit provides an improvement to the impact generation. However, Terrestrial ecotoxicity and Agricultural land occupation scores are higher when the recovery unit is introduced.

Table 2. The midpoint category results for both the currently operating oil refinery and the refinery with the recovery unit

Impact category	Unit	Currently operating oil refinery	Refinery with the recovery unit	Relative difference percentage
Climate change	kg CO2 eq	5.42E+05	4.94E+05	0.09
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	1.78E-02	1.50E-02	0.15
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	2.22E+03	1.56E+03	0.30
Freshwater eutrophication	kg P eq	2.12E+01	1.43E+01	0.33
Marine eutrophication	kg N eq	2.17E+01	1.88E+01	0.13
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	1.22E+04	9.89E+03	0.19
Photochemical oxidant formation	kg NMVOC	6.56E+02	6.08E+02	0.07
Particulate matter formation	kg PM10 eq	5.56E+02	4.07E+02	0.27
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	2.18E+01	2.96E+01	-0.36
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	4.79E+02	3.30E+02	0.31
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	7.68E+02	7.58E+02	0.01
Ionizing radiation	kBq U235 eq	2.42E+03	2.34E+03	0.03
Agricultural land occupation	m^2a	9.08E+02	1.12E+03	-0.23
Urban land occupation	m^2a	2.73E+02	2.17E+02	0.20
Natural land transformation	m^2	8.62E-01	7.04E-01	0.18
Water depletion	m^3	2.34E+02	1.89E+02	0.19
Metal depletion	kg Fe eq	1.05E+05	6.91E+04	0.34
Fossil depletion	kg oil eq	1.89E+04	1.77E+04	0.07

3.2 Evaluation of the Endpoint Category Scores

The endpoint level considerations usually represent damage to one of three protective zones, namely human health, environmental quality, and natural resources. The mid- and end-point

methods are compatible because the midpoint characterization has a closer relationship with environmental flows and usually has lower parameter volatility. In contrast, the characterization of the endpoint is more straightforward to understand concerning ecological flows (Hauschild and Huijbregts, 2015). A comparative assessment of endpoint category scores is given in Table 3.

The human health category is described as the amount of year lose and the amounts of the year lived as handicapped; by combining these, we will get Disability Adjusted life Years (DALY) which is the unit of measuring human health scores. The ecosystems category is the decline of biodiversity over a particular region over a specific period and area. The unit is the local species loss integrated over time. The resources category scores are described as the potential resource supply excess costs for an end-use period, with continuous yearly output and then a discount rate of 3%. The unit is $. In agreement with the midpoint category scores, the introduction of a vapour recovery unit makes a significant contribution to decreasing environmental impacts in each endpoint category scores.

Table 3. The endpoint category results for both the currently operating oil refinery and the refinery with the recovery unit

Damage category	Unit	Currently operating oil refinery	Refinery with the recovery unit
Human Health	DALY	1.070E4	7.880E3
Ecosystems	species. Yr	0.912	0.804
Resources	$	0.00434	0.00395

3.3 Assessment of Single Scores

To express all impacts in a consistent single unit Pt (point) is used at the LCI level where 1 Pt represents 1000th of a world average population's annual environmental load. A comparative assessment of representative single scores is given in Figure 3. From an endpoint approach considering the representative single scores, overall impacts for the currently operating oil refinery and the refinery with the recovery unit are 34.7 and 29.8 kPt, respectively, again agreeing with the improvement on the environmental impacts with the introduction of vapour recovery unit.

4. Conclusion

The oil refining industry is one of the most pollutant sectors in terms of environmental impacts due to the considerable amounts of raw materials utilized and waste produced. In the oil refining processes, the impacts of the oil upstream and downstream activities need to be further evaluated in a sustainability perspective. This study focuses on conducting a comprehensive Life Cycle Assessment (LCA) of a crude oil processing plant in Sudan. In addition to the oil refinery's current situation, a vapour recovery unit with 90% efficiency was also introduced as an alternative scenario to compare its effects on environmental sustainability scores. ReCiPe method was used in both midpoint (problem-oriented) and endpoint (damage-oriented) levels.

Regarding the endpoint category, we considered human health, ecosystems, and resource impact categories. The category scores for the currently operating refinery were 1.070E4 DALY, 0.912 species.yr, and 0.00434 $ while the scores for the refinery with the recovery unit were 7.880E3 DALY, 0.804 species.yr, and 0.00395 $ respectively. Thus, on a single score basis, the current operating refinery's overall impact was 34.7E+04, while the score for the refinery with the recovery unit was 29.8E+04 kPt. Thus, the simulation results indicated that the introduction of vapour recovery units in refinery tanks provides environmentally beneficial results with a 14% decrease in the refinery's total environmental impact.

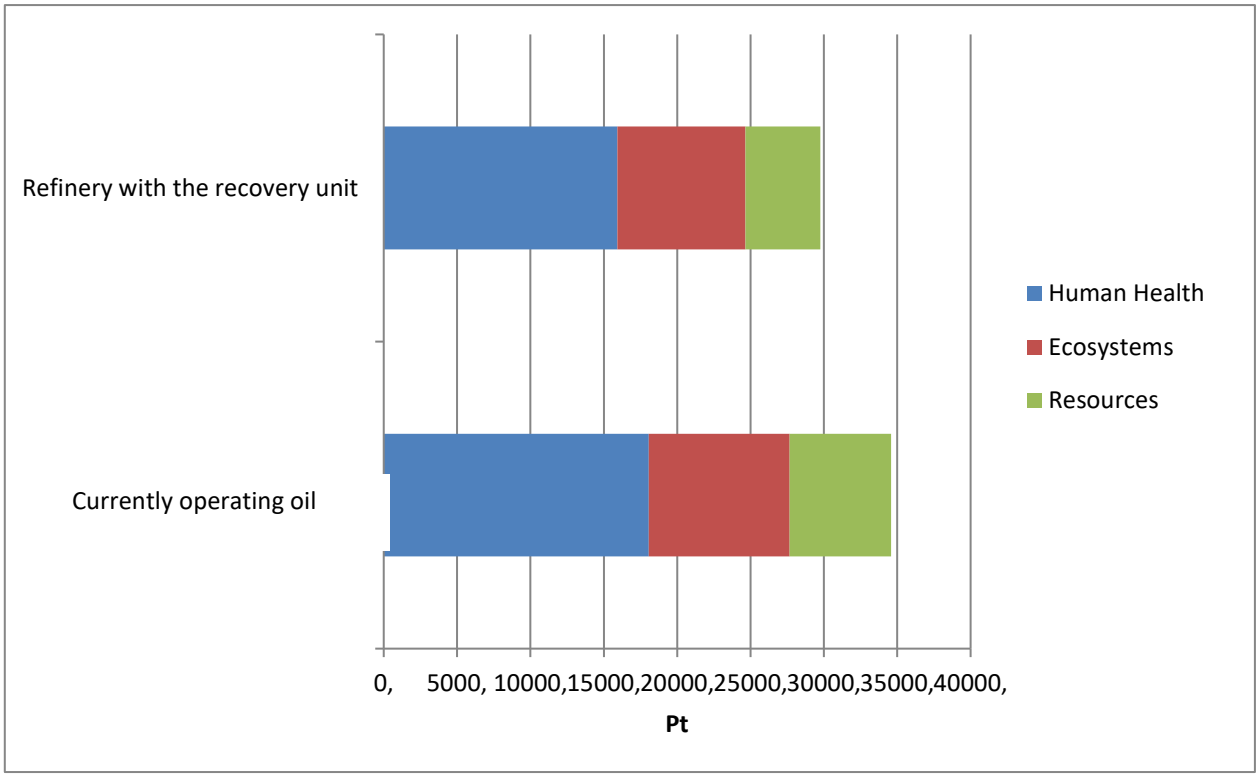


Figure 3. Single scores for both the currently operating oil refinery and the refinery with the recovery unit.

This paper indicates the principal conclusions of a case study investigating a crude oil refinery in Sudan. The principles of this study based on a cradle-to-gate LCA; thus, data acquisition was made within these limits. In addition, further analysis has been undertaken to ensure the study's completeness, assess the quality of the main aspects, and ensure that the data and findings are consistent with the established objective and scope of the study. Therefore, the results of the LCA analysis may be argued for providing an insight into the existing activities of the Sudanese oil industry and further shown by these findings that an inclusive mechanism to control and mitigate environmental impacts is necessary. The economic analysis of the introduction of a recovery unity is also planned for a possible follow-up study to strengthen the sustainability discussion.

References

BP, 2019a. BP Statistical Review of World Energy 2019. BP p.l.c., London.

BP, 2019b. BP Energy Outlook 2019 Edition. BP p.l.c., London.

Curran, M. A. (2000). Life cycle assessment: An international experience. Environmental Progress, 19(2), 65-71.

Furuholt, E. (1995). Life cycle assessment of gasoline and diesel. Resources, Conservation and recycling, 14(3-4), 251-263.

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J. V. Z. R., & Van Zelm, R. (2009). A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. The Hague, Ministry of VROM. ReCiPe.

Goedkoop, M., Schryver, A. D., Oele, M., & Durksz, S. Roest Dd (2010) SimaPro 7. Introduction to LCA with SimaPro, 4.

Hauschild, M. Z., & Huijbregts, M. A. (2015). Introducing life cycle impact assessment. In Life cycle impact assessment (pp. 1-16). Springer, Dordrecht.

ISO14040, 2006. Environmental Management Life Cycle Assessment Principles and Framework. British Standards Institution, London.

International Organization for Standardization. (2006). Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework (Vol. 14044). ISO.

IHS Markit Global Refineries Database, interviews with IHS Markit analysts.

MEEC, 2019. Comprehensive VOCs Treatment Scheme for Key Industries. Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China.

Menoufi, K. A. I. (2011). Life cycle analysis and life cycle impact assessment methodologies: a state of the art.

Morales, M., Gonzalez-García, S., Aroca, G., & Moreira, M. T. (2015). Life cycle assessment of gasoline production and use in Chile. Science of The Total Environment, 505, 833-8.

"Sudan & South Sudan Power Report Q4 2017," BMI Research.

Shen, W., Zhang, A.L., Han, W., 2006. Well to Wheel analysis on energy use and GHGs emission of NG-based alternative fuels. Nat. Gas. Ind. 26, 148e152.

U.S. EIA. Crude Oil Production; Energy Information Administration: Washington, DC, 2017.

World Bank, (2008). "Revitalizing Sudan's Non-Oil Exports: A Diagnostic Trade Integration Study.

Young, B., Hottle, T., Hawkins, T., Jamieson, M., Cooney, G., Motazedi, K., & Bergerson, J. (2019). Expansion of the petroleum refinery life cycle inventory model to support characterization of a full suite of commonly tracked impact potentials. Environmental science & technology, 53(4), 2238-2248

Motorlu Taşıtların Gürültü Kirliliğindeki Rolü ve Çözüm Önerileri

Prof. Dr. Murat ÇETİN[1,a], Asım AYDIN[2,b]
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 24100, Erzincan

Özet
Gürültü son yıllarda önemli çevresel sağlık sorunları içinde tanımlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de ulaştırma sektöründeki taşıtlardan kaynaklanan gürültü kirliliği sorunlarını içermektedir. Günümüzde motor araştırmalarının merkezinde; motor performansını artırmak, yakıt ekonomisi, egzoz gazı emisyonu ve gürültü seviyelerini sınırlamak yer almaktadır. Taşıt sayısındaki artışın sonucunda araçlardan kaynaklanan gürültü kirliliği, insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu taşıt kaynaklı gürültü kirliliğini minimize etmek ve çevre duyarlılığına sahip olmak büyük önem arz etmektedir. Araç tasarımlarında yapılacak gerekli düzenlemeler ve yollarda alınacak ek önlemler insanların olumsuz yönde etkilenme derecesini bir miktar azaltacaktır. Çalışmada; genel anlamda gürültü tanımlanmış, gürültü seviyesinin azaltılması için araçlarda ve yol üzerinde yapılan ve yapılması için öneriler verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Çevre, Gürültü, Kirlilik, Motorlu Taşıtlar, Yol

Role Of Engine Vehicles From Noise Pollution And Solution Proposals

Abstract
Noise have identified as major environmental health problems in recent years. The aim of these study noise pollution problems from the vehicles in transportation sector in Turkey. Today, improving engine performance, limiting fuel economy, exhaust gas emissions and noise levels is at the center of engine research. Due to the increase of vehicles, noise pollution has a negative impact on human health. It is important to minimize this vehicle-related noise pollution and to develop environmental awareness. Necessary precautions in vehicle design and additional measures in traffic will reduce the negative impact on people. The study defines noise in general terms. Study; In general, noise has been defined and suggestions have been made on vehicles and on the road to reduce the noise level.

Keywords: Environment, Noise, Motor Vehicles, Pollution, Road

1.Giriş

Son yıllarda, kalkınma ve taşıt sayısının hızla artışının da etkisi ile tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de motorlu taşıt merkezli çevre sorunlarından biri de gürültü kirliliğidir. Karayolu trafiğinin artışı ile birlikte öncelikle büyük şehirlerde meydana gelen gürültü kirliliği son dönemde küçük şehirlerde de bir problem olarak hissedilmektedir. Taşımayla ilgili çevre kirliliğinin temelinde zararlı egzoz gazı bileşiklerinin salınımı ve özel önemi olan gürültü kirliliği dikkat çekmektedir. Bu sorunlara karşı etkili bir şekilde mücadele için özellikle trafik akışlarını öngörme ve yönetmede sürdürülebilir ulaştırma sistemlerinin tasarımında sürdürülebilir karar aşamalarını destekleyen araçları gerekmektedir. Ulaştırma sisteminin çevresel verimliliğinin kirlilik ve gürültü açısından değerlendirilmesinde, ulaştırma faaliyetlerinin zararlı etkilerini önleme ve ortadan kaldırmanın maliyeti göz önünde bulundurulmalıdır. Genel olarak, ulaştırma sisteminin etkinliğinde ana hedeflerin etkili bir şekilde gerçekleştirilmesi ve faaliyetlerinin olumsuz etkilerini önlemenin maliyetleri bu iki faktörün bir karışımıdır. Hedeflerin uygulanmasının seviyesi, sistemin etkileri olarak tanımlanabilirken, girdiler taşımacılığın çevre üzerindeki olumsuz etkisinin azaltılması dahil olmak üzere hedeflere ulaşmak için gereken kaynaklara karşılık gelmektedir [1, 2,3].

Dünya Sağlık Örgütü (WHO) verilerine göre, gürültü kirliliğinin sağlık üzerindeki etkisi hava kirliliğinden sonra ikinci sıradadır. Gürültü kirliliği sadece işitme kaybının değil, aynı zamanda kalp hastalığının, çocuklarda öğrenme problemlerinin ve uyku bozukluğunun önemli bir nedenidir. Ancak üretimde gürültüye karşı gösterilen titizlik ve katı sınırlar taşıt kullanımı ve yol uygulamalarında benimsenir, kontrol edilir ve teknoloji teknikleri kullanılarak trafik gürültüsü daha düşük değerlere indirilebilir [1]. Ses, objelerin titreşmesi ile ortaya çıkan bir enerjidir. Titreşimler de objenin yapmış olduğu çok hızlı hareketlere verilen isimdir. Gürültü ise arzu edilmeyen ya da istenmeyen rahatsız edici bir sestir. Modern şehirde ve çevresinde gürültünün başlıca sebeplerinden bir tanesi taşıma (ulaşım) faaliyetleridir. Gürültü; araçlarda motor ve taşıtların egzoz sistemleri ile taşıt yan sistemleri (örneğin; Lastik-yol, tekerlek- demiryolu karşılıklı etkisi) arasındaki etkiler ile üretilir. Fazla miktardaki sesin açık havaya bırakılmasının insanlarda fiziki ve psikolojik zararlara neden olduğu görülmüştür. Sinir bozucu etkisi nedeniyle gürültü artışı ve gürültünün dışarı bırakılmasının zihinsel gerilimlere sebep olacağı ve genel toplum sağlığına yapacağı olumsuz etkilerden dolayı mutlaka kontrolü gereklidir [4]. Taşıt sayısındaki sürekli artışın sonucu olarak karayolu trafiğindeki taşıtların artışı ile birlikte öncelikle büyük şehirlerde hissedilen gürültü kirliliği son dönemde küçük şehirlerde de hissedilmeye başlamıştır. Gürültü düzeyleri ve insan algılaması Tablo 1'de verilmiştir. Ses, maddeleri oluşturan moleküllerin herhangi bir sebepten dolayı titreşmesi sonucunda oluşan, bu titreşimlerin sonucunda ses dalgaları aracılığı ile kaynağından enerji taşıyan ve atmosferde kulağımız tarafından algılanabilen periyodik basınç değişimleri olarak tanımlanabilir [4]. Desibel (dB), belirli bir referans güç ya da miktar seviyeye olan oranı belirten genelde ses şiddeti için kullanılan logaritmik ve boyutsuz bir birimdir. dB(A) ise, uluslararası standartlara uygun (IEC 61672:2003) ses basınç seviyesi ölçümünde kullanılan A ağırlıklı seviyesini (insan kulağını duyacağı ses seviyesi) belirtir. Yani dB ses ölçümünde geneli, dB(A) ise insan kulağının duyacağı sesleri ifade eder [3]. Tablo 1'de verilen değerler, 60 dB üzerindeki değerlerin insanları rahatsız edici ortama dönüştüğünü göstermektedir [4, 5].

Tablo 1.Gürültü düzeyleri ve insan algılaması [5]

Gürültü Seviyeleri ve İnsan Tepkisi		
Yaygın sesler	**Gürültü seviyesi (dB)**	**Etkisi**
Jet tepkisi, taşıyıcı donanımları, havalı sirenler	**140 ve yukarı**	**Rahatsız edici, acı veren gürültü**
Jet havalanması (200 ft), gök gürlemesi, diskotek	**130**	**Rahatsız edici, acı veren gürültü**
Otomobil kornası, metal köprü ayağı çakılması	**120-110**	**Maksimum bölgesel etkilenme**
Çöp arabası (öğütücü)	**100**	**Maksimum bölgesel etkilenme**
Ağır çekici (50 ft), Şehir trafiği	**90**	**Oldukça rahatsız edici, duymama tehlikesi (8 saat)**
Alarm saati (2 ft), saç kurutma makinesi	**80**	**Rahatsız edici**
Gürültülü Restoran, serbest trafik yolu, insan sesi	**70**	**Telefon kullanmak zorlaşır**
Hava klima ünitesi (29 ft)	**60**	**İzinsiz istenmeyen**
Hafif otomobil trafiği (10 ft)	**50**	**Oldukça sakin**
Oturma odası, yatak odası, sakin büro	**40**	**-**
Kütüphane, sessiz fısıltı (15 ft)	**30**	**Oldukça sakin**
Radyo yayın istasyonu	**20**	**-**
	10	**Sadece işitilebilir.**
	0	**Duyma başlangıcı.**

Gürültü seviyesinin sınır değerlerinden yüksek olduğu ortamlarda anlık gizli işitme kayıplarına neden olacağı belirtilmektedir. Anlık şok gürültü değerinin 140 dB ve üzerine çıkması durumunda ise sakıncalı bir durum olduğu belirtilmektedir. Birçok taşıma türünde gürültü problemdir ve taşıma koridorlarında (örneğin otoban, demir yolu ve hava taşımacılığında uçuş hatları) ve ana taşımacılık merkezlerinde (havaalanı ve geçiş terminallerinde) kontrol edilmeye çalışılır. Gürültü kaynağı ile ortam arasında ki mesafe arttıkça gürültü etkisi azalacağı için gürültü ortamında bulunan taşıt kullanıcılarının ve ulaşım güzergâhlarındaki yerleşim bölgelerinin iyi planlanması gerekmektedir. Yol emniyet ve kişi sağlığı için gürültü şiddetine dayanılabilir süre değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo2. Yol emniyeti ve kişi sağlığı için gürültü kriteri [4]

Dayanılabilir süre(saat/gün)	Gürültü seviyesi dB(A)
8	85-90
6	92
4	95
3	97
2	100
1,5	102
1	105
0,5	110
0.25 ve daha düşük süre	115

1970 yılında Seiff tarafından yapılan çalışmada, ticari taşıtlarda sürücülerin yorgunluk ve işitme problemlerini, gürültü seviyesi ile karşılaştırmıştır. Aynı çalışmada ABD'nin (Amerika Birleşik Devletleri) çeşitli eyaletlerinde motorlu taşıt gürültü standartlarıyla ilgili, gürültü komiteleri kurulmuştur. 1972 yılında gürültü kirliliği resmi düzeyde gündeme gelmiş ve dünya genelinde birçok ülke de gürültü özellikle büyük şehirlerde en temel problem olarak kabul edilmiştir. ABD'de Federal Otoyol Konsorsiyumu (FHWA) gürültü standartlarıyla ilgili proje geliştirme işlemleri hakkında başvurulan yaklaşımları teşvik etmiş ve gürültü standart değerlerini farklı başlıklar altında düzenlenmiştir. Gürültü kirliliğinin sağlık üzerindeki zararlı etkilerinin yanında kontrol metotları da pahalı, gürültü kaynaklarının incelenmesi ve gürültü önleme yollarının araştırılması ile ilgili çalışmalar önemini korumaktadır [5].

Tablo 3. FHWA Gürültü standartları [5]

Gürültü Düzey Dizaynı / Yer Kullanım İlişkisi		
Yer Kullanım Sınıflandırması	**Gürültü Düzeyi Belirlenmesi L10**	**Kullanım Yeri Tanımlama**
A	60 dBA dışarda	Bu bölgelerde sükunete, sessizliğe ve hizmete büyük önem verilir.
B	70 dBA dışarda	Meskenler, oteller, toplantı salonları, okullar camiler, kiliseler, dışarda kütüphaneler,

		hastaneler, piknik alanları, eğlence yerleri, oyun sahaları
C	75 dBA dışarda	Gelişmiş yerler, özellikli aktiviteler, A ve B dışarda sınıflarını içermez.
E	55 60 dBA içerde	Oteller, kiliseler, toplantı salonları, kütüphaneler, hastaneler, meskenler.

2. Ulaşımdan Kaynaklanan Gürültü Değerleri

Gürültü kaynağının ürettiği gürültü; koruyucu bariyer ya da kalkan olmadığında dairesel halkalar şeklinde çevreye yayılır. Gürültü kaynağı merkezinden havaya doğrudur ve ses yoğunluğu kaynaktan uzaklaştıkça gürültü etkisi azalır. Buna ilave olarak yayılmanın havada absorbe olmasından dolayı yoğunluk kaybı hava partikülleri arasında ses enerjisinin transferi şeklinde yer alır. Motorlu taşıt sanayisinin gelişmesiyle günümüzde birçok insanın kendisine ait motorlu taşıta sahip olmuştur. Bu nedenle yollarımızdaki trafik yoğunluğu giderek artmıştır [4]. Taşıt araçlarının özellikle kamyon, kamyonet, otobüs ve kişiye ait özel otomobil sayıları her yıl önemli ölçüde artmaktadır. Örneğin ülkemizde motorlu taşıt araç (otomobil, minibüs, otobüs, yük taşıtları, kamyon, diğer yolcu ve yük kara taşıtları, özel amaçlı taşıtlar, yol ve iş makineleri) sayısı 1998 yılında 6,3 milyon iken, bu sayı 2021 yılında 24 milyon 256 bin 741'e yükselmiştir. Sadece kara yolunda kullanılan taşıtlar değil aynı zamanda hava taşıt araçlarının sayısı da her geçen gün artmaktadır. Yaşam koşullarının ve ülkeler arası turizmin artmasından dolayı hava trafiğinde de önemli artışlar meydana gelmiştir [6]. Meydana gelen bu artışlar, taşıtlardan kaynaklanan gürültü miktarında da artışa neden olmuştur. Ulaşımda gürültü oluşumunun temel etmenleri;

- Motor ve egzoz sistemi,
- Taşıt üzerindeki hareketli parçalar,
- Yol geometrisi ve yüzey kaplaması,
- Taşıt ve yol ilişkisi,
- Trafik yapısıdır [4].

İnsanların sağlığını olumsuz etkileyen gürültüye karşı önlemler alınması için gerekli emisyon sınır değerleri belirlenmiştir (Tablo 4). Sınır değerlerinin tespiti yerleşim yerlerini aşırı yoğunluğu engellemesi ve belirlenen sınır değerlerinin uygulanabilir olması amaçlanmaktadır. Sınır değerin düşük tutulması ile gürültüden korunma önlemlerine ilişkin maliyetler artmaktadır [4].

Tablo 4. Trafik gürültüsü için belirlenen bölge ve değerler [4]

Bölge Tanımı	**Gece (22-06)dB**	**Gündüz (06 - 19)dB**	**Akşam (19-22)dB**
Şehir dışı konut alanı	35-45	30-40	25-35
Şehir kenarı konutlar	40-50	35-45	30-40
Şehir konut alanı (trafiğe 100 m mesafe)	45-55	40-50	35-45
Anayollar, işyerleri. (trafiğe 60 m mesafe)	50-60	45-55	40-50
Şehir merkezi konut alanı (trafiğe 20 m mesafe)	55-65	50-60	45-55
Endüstri bölgeler, Ağır taşıt geçen yollar	60-70	55-65	50-60

Gürültü ile yasal bir şekilde mücadele edebilmek için hazırlanan "Gürültü kontrol Yönetmeliği" resmî gazetede 11 Aralık 1986 tarihinde yayınlanmıştır [4]. Gürültü kontrol yönetmeliğine göre kara taşıtlarında taşıt türüne göre belirlenen üst sınır değer Tablo 5'te verilmiştir. Taşıtlardan meydana gelen gürültünün bu değerleri aşmaması istenir. Ülkelere göre birbirinden farklı sınır değerleri görülebilir. ABD'de eyaletten eyalete değişirken, Japonya'da gündüzleri 55-70 dB, geceleri 45-60 dB, Rusya'da önemli yerleşim merkezlerinde 50 dB, Fransa'da ise gündüzleri 60 dB, geceleri 40 dB değerlerini geçmemesi istenmektedir.

Tablo 5. Taşıt cinsine göre belirlenen üst sınır değerler [4]

Taşıt türü	**Üst gürültü seviyesi dB(A)**
Otomobil	75
Otobüs(kentiçi-kent dışı)	80-85
Ağır müteaharrik araç ve kamyonlar	85
Lokomotif içi (dizel motorlu, tam güç ve yükte çalışırken 80km/h)	85
Elektrikli lokomotif	80
Vagonların içinde	70

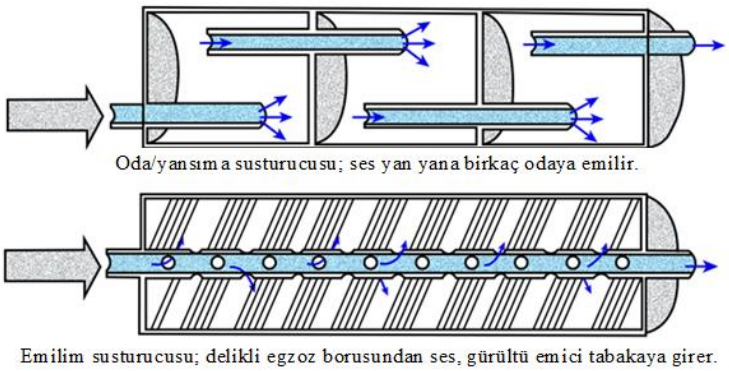
3.Karayolu Ulaşımında Gürültü Azaltma Yöntemleri

Gürültüden korunma ve gürültüyü azaltmanın yolları;

- Taşıt üzerinde alınacak önlemler
- Yol üst yapısında alınacak önlemler
- Trafik düzenlemesi ile alınacak önlemler
- Gürültünün çevredeki yapılarla önlenmesi
- Yerleşim alanlarının planlanması
- Yol kenarındaki önlemler olarak sıralanabilir [4].

3.1. Taşıt Üzerinde Alınacak Önlemler

Taşıt motorundan atmosfere atılan egzoz gazları, kesit değişimi ve gaz hızından dolayı ses çıkartır. Egzozdan çıkan ses, susturucu sistemi sayesinde azaltılmaktadır. Eğer susturucu sistemi olmazsa çıkan ses tahammül edilemeyecek düzeyde olur. Ancak egzoz borusunda, egzoz gazlarına farklı dalga boyu verilerek ses frekansları ile sönümlenebilir (Şekil 1). Bunun için ses enerjisi uygun bir ses yutma maddesindeki sürtünme ile ısıya dönüştürülür. Günümüzde ses susturma tekniğinde sesi azaltmak için farklı yollar kullanılır [4].



Şekil 1. Egzoz susturucu elemanı yapıları [Anonim]

Yankılanma; ses, ses dalgası dirençlerine, yansıtılır ve ses enerjisinin bir kısmı azalan bir yankı gibi kendi kendine yok olur (Şekil 1). Egzoz gazı bölünür, ses dalgaları farklı uzunluktaki yolları dolaşırlar ve birbirleriyle karışırlar. Birbiri üzerine binen ses dalgaları artarak ilerleyebilir veya karşı karşıya gelip birbirlerini sönümleyebilir. Susturucunun içi ses yutucu madde ile doldurulur ve ses enerjisi ses yutma maddesinin içinde sürtünme sebebiyle ısıya dönüşür. Daralan boru kısmında egzoz gazları fazla sayıda delik bulunan giriş borusundan çıkıp, çıkış borusundaki küçük deliklerden geçer ve dışarıya çıkarlar. Bu esnada karşı duvardan yansıyan ses dalgaları dairesel geniş delikten geçerek geri yansırlar [4].

Uygulanan yöntemlerin birden fazlası bir taşıtta yer alabilir. Kullanılan motor kapasitesi, taşıt tipi, egzoz gazı miktarı ve benzeri parametreler uygulanacak yöntemde etkili olur. Bununla birlikte egzoz susturucusunun iç teknolojisi ve konumunun ses sönümleme kapasitesi yönünde ciddi etkisi vardır. Susturucunun akış direnci ise az olması gerekir. Yüksek direnç oluşturan susturucu, motor pistona negatif kuvvet uygular ve motor gücünün azalmasına sebep olur. Motor çalışma verimliliğinde, motor yapım teknolojisi yanında susturucu da oldukça önemlidir. Taşıt çalışma aralığının dışına çıkıldığı durumlarda ve susturucunun arızalı olması durumlarında, susturucu tam olarak görevini yerine getiremez. Bu nedenle taşıt, gürültü kaynağı olarak karşımıza çıkar. Egzozun oluşturduğu gürültünün yanında ihmal edilebilir olsa da motordaki hareketli elemanların oluşturduğu gürültünün önlenmesi için de motor bloğunun yer aldığı kısım yalıtılmalıdır. Motor bloğundan oluşan gürültünün sürücüye ulaşmaması için engellenmelidir. Hareketli parçalardan kaynaklanan sesleri azaltmak için uygun malzeme seçimi ve yağlama işlemlerinin zamanında yapılması gereklidir. Araç için uygun lastik seçimi yapılmalı, araç lastikleri deforme olmamalıdır. Eğer araç lastikleri deforme olmuş ise zamanında değiştirilmelidir. Deforme olan lastiklerin gürültüyü arttırıcı etkisi vardır. Beton yüzeyde yıpranmış lastikler, yeni lastiklere göre 14db(A) daha gürültülüdür. Lastik basıncı ise firmanın belirlemiş olduğu standartlarda kullanılmalıdır [4].

3.2. Yol Üst Yapısında Alınacak Önlemler

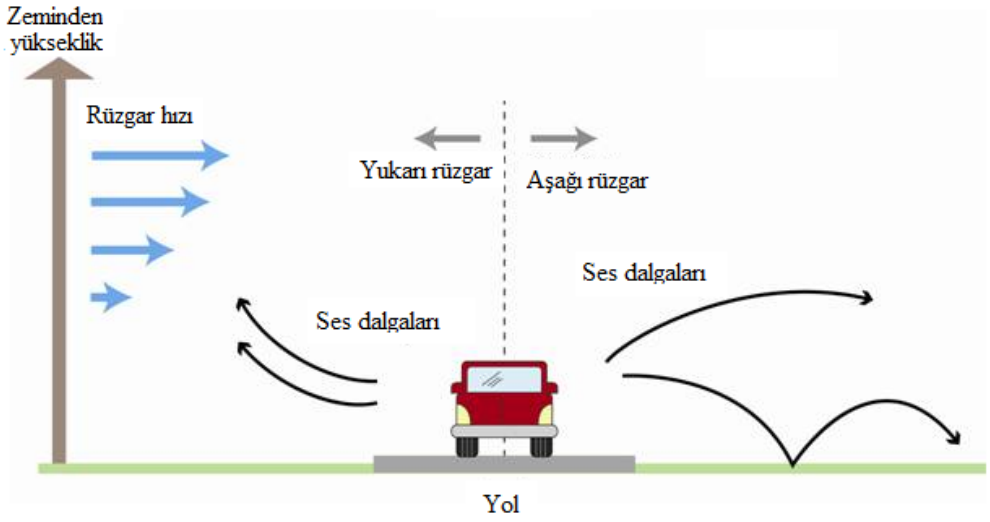
Sathi kaplamalı yollar gürültü oluşturduğu için, yol yüzeyinin beton asfalt ya da beton kaplama ile kaplanmalıdır. Bu yüzey normal bir döşemeden daha pahalıdır, ancak diğer gürültü engellerine göre daha düşük maliyetli bir alternatif olduğu için tercih edilmektedir. Yoldaki eğim taşıtın normal çalışma düzenini değiştirdiği için, eğim minimum tutulmalıdır. Gürültü kaynağı önlenemez durumda olan bölgelerde ise yapılacak tünel sistemi ile gürültü kaynağı, tünel içerisine alınabilir ve gürültü kirliliği önlenebilir. Üst geçitlerle kesişmenin önlenmesi yolun seviyesi aşağı indirilerek, yol kenarlarının yol seviyesinden yukarıda tutulması sağlanarak ses dağılımı önlenebilir [4].

3.3. Trafik Düzenlenmesinde Alınacak Önlemler

Artan taşıt sayıları sebebiyle trafiğin yoğunlaşması caddelerimizi devamlı artan bir gürültü kaynağı haline getirmektedir. İnsanlar genellikle caddeler etrafında yerleşmiş bulunduklarından bu gürültü kirliliğine maruz kalmaktadırlar [4]. Motorlu taşıt sahibi ve kullanıcısı olarak tüm bireyler yol trafiğindeki gürültünün kaynağıdır ve değişik davranışlar ile hem gürültünün artışına ve hem de azalmasına katkıda bulunabilirler. Motorlu taşıtların zorunlu trafikte kullanımının sınırlandırılması zor bir uygulamadır ancak taşıtların az gürültülü sürüş şekli ile gürültünün azaltılmasına katkı sağlanması mümkün olabilmektedir. Sürücü belgesi veren eğitim kurumları, motorlu taşıtların gürültü kirliliği ve çevre bilinci ile kullanımının öğrenilmesi bakımından önem arz etmektedir [7]. Etki altında kalınan bu kirliliği azaltmak için alınacak önlemler;

- Trafik akımının kontrol edilmesi
- Trafikteki taşıt cinsinin kontrolü
- Hız kontrolü
- Ağır taşıtların geceleri dinlenme ve oturma alanları dışına çıkarılması
- Kavşaktaki ışıkların yeşil dalgaya göre ayarlayarak serbest akımın sağlanması.

- Şehirlerde trafik gürültü düzeyi zamana bağlı olarak ölçülüp, gürültü haritası hazırlanarak trafiğin buna göre düzenlenmesi şeklinde sıralanabilir.



Şekil 2. Rüzgâr yönüne göre taşıt gürültüsünün dağılımı [8]

3.4. Gürültünün Çevredeki Yapılarla Önlenmesi

Gürültünün sebep olduğu zararlara maruz kalmamak için alınabilecek bazı tedbirler vardır. Bu tedbirler yönetmelikte belirtilen tablolardaki değerlerin aşılması durumunda söz konusu olurlar. Teknik, inşaatla ilgili ve iş yerinde koruma ile ilgili birtakım tedbirler söz konusudur. Aslında gürültü unsuru şehir plancılığında, sanayi yerleşim yerlerinin seçiminde de göz önünde tutulmalıdır. Tüm çevre kirliliği faktörlerinde olduğu gibi en uygun olan çözüm gürültüyü kaynağında önlemektir. Fakat bu her zaman ekonomik ve teknik açıdan mümkün olmayabilir. Gürültünün azaltılması için uygulanabilecek teknik ve organize önlemler aşağıda sıralanmıştır.

- Kent planlamasında yapılacak uygun arazi kullanımı ve topografik durumlardan yararlanma,
- Yapılaşmanın yola minimum uzaklıklarının bırakılması,
- Hava alanlarının, endüstri ve sanayi bölgelerinin yerleşim bölgelerinden uzak yerlerde kurulması,
- Yerleşim yerlerinde ve binaların içinde gürültü rahatsızlığını önlemek için yeni inşa edilen yapılarda ses yalıtımı sağlanması.

İşletmenizdeki duruma ve çerçeve şartlara göre bunlardan biri veya birkaçının kombinasyonu uygulanabilir. Gürültü ile mücadele çalışmaları ve gürültü seviyelerinin çevreye olumsuz etkilerinin azaltılması kamu kurumları ve sivil toplum kuruluşlarının ortak çalışmaları ile önlenebilir. Yönetmelikte getirilen sınırlandırmalara ve yasaklamaları uyulması konusunda yine yönetmelikte yetki verilen kurumların üzerine düşeni eksiksiz yapması gerekmektedir. Sivil toplum kuruluşları halkı bilgilendirerek kamu kurumları ve halk arasında iletişimi ve denetimi sağlamalıdır. Özellikle belediyeler yeni oluşturan kentsel bölgelerde daha düzenli imar planların yapılabilmesi sağlanmalıdır. Trafik gürültüsünün azaltılması için konut ve yolar arasında mesafelerin artırılması ve yeşillendirme çalışmaların yapılması birinci öncelik olmalıdır. Çok yoğun olan yollarda (otoban, çevre yolu) görüntü kirliliği oluşturmayacak perdeleme çalışmaların yapılması gereklidir. İmar planları kapsamında yeni yapılacak konutlarda daireler arasında ve konutlar ile dış ortamlar arsasında TSE standartlarına uygun gerekli izolasyonların yapılması zorunlu hale getirilmelidir. Bu konutlarda izolasyon işlemlerinin TSE standartlarında olup olmadığı yetkili kurumlarca denetlenip ve gerekli ölçümler yapıldıktan sonra izin verilmelidir. Önemli ölçüde gürültü azalması sağlamak amacıyla yol ile alıcı arasındaki uzaklığın 30-40 m olması öngörülmektedir. Genel olarak da yol ile alıcı arasındaki mesafenin 2 kat arttırılmasının gürültü düzeyinde uzaklığa bağlı olarak 3 dBA azalma sağlayacağını söyleyebiliriz [9].

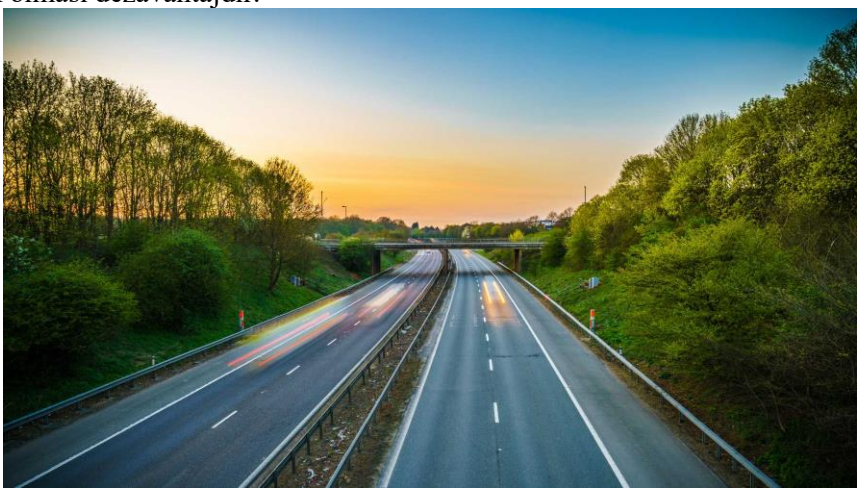
3.5. Yerleşim Alanlarının Planlanması

Almanya'da yapılan bir çalışmada, şehirlerarası trafik yolunun kentin dışından geçirilmesi gerektiğini, şehrin içinden geçmesi mecburi olan yolların ticaret ve endüstri gibi gürültüye az hassas yerlerin seçilmesi ve yeşil alan uygulamasının olması gerektiği belirlenmiştir. Özellikle kentsel mekanlarda, yerleşim alanları ile trafik yollarının, havaalanı, demiryolu ve endüstriyel tesislerin arasında gürültüyü azaltarak bir yeşil alan bırakılması gereklidir. Eğer bu tampon alanının kotu değiştirilirse, yeşillendirme çalışması yapılarak gürültü düzeyi oldukça azalacaktır. Gürültü kaynağı ile etkilenecek alan birbirlerine çok yakınsa, beton oluklu levha veya şeffaf akrilik plastik gibi maddelerden yapılmış duvarlarla, gürültü düzeyi azaltılabilir [10].
Yerleşim alanları yakınındaki yolların kaplamalarında ses absorbe edici malzemelerin kullanımı;

- Yol kenarındaki yapıların trafik debisine göre planlanması,
- Karşılıklı yansımaların önlenmesi,
- Tampon alanların bırakılması,
- Gürültüden uzak olması gereken binaların uygun yer seçilerek inşa edilmesi,
- Fonksiyonel hacimlerin bina içerisindeki yer ve yönlerinin tasarlanması,
- Yapı bünyesinde değişik malzeme kullanılması da önemli ölçüde gürültü düzeyini azaltabilir.

3.6. Yol Kenarındaki Önlemler

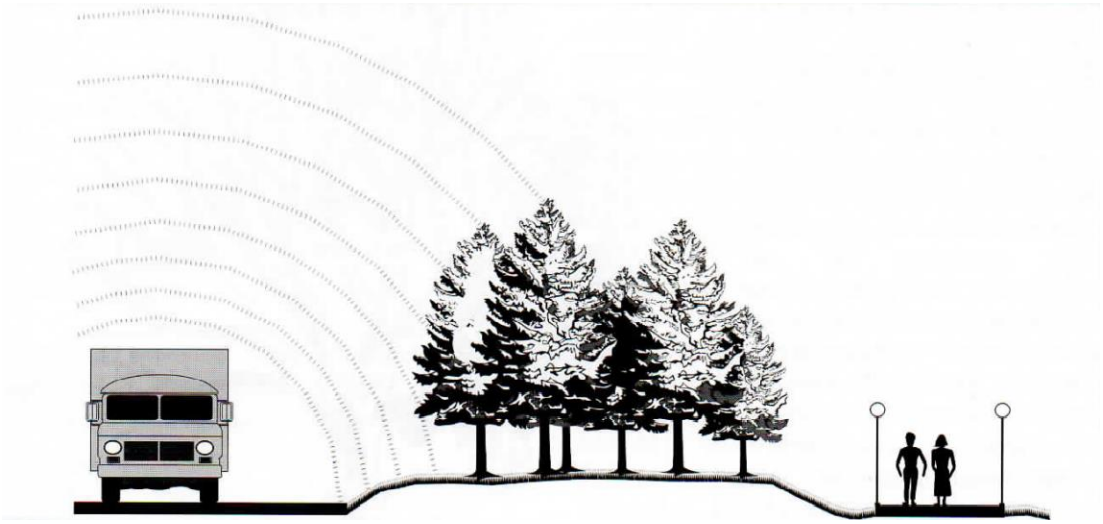
Ses dalgaları doğal olarak meydana geldikleri ve katı objeler tarafından üretildikleri için objelerin özelliklerine bağlı olarak katlanma, yansıma veya yankı gibi değişimler gösterir. Ses dalgaları her ortamda aynı hızla yayılmaz ve sesin yayılma hızını etkileyen faktörler vardır. Bunlar; ses üreten maddenin bulunduğu hâl ve ortamın sıcaklığıdır. Ses yayılması maddesel bir ortamda oluşur ve maddesel taneciklerin birbiriyle etkileşimi ile taşınır. Ortam sıcaklığının artması, ortamda bulunan taneciklerin iç enerjisini yani hareketliliğini artmasına neden olur ve sesin ortamda daha hızlı bir şekilde yayılmasını sağlar. Katıların ses yayılımı sıvılar ile gazlara göre daha hızlıdır. Bunun sebebi ise katıların sıvılardan, sıvıların ise gazlardan taneciklerinin birbirine daha yakın olmasından kaynaklanır. Kısaca sesin yayıldığı ortamdaki tanecikler ne kadar birbirlerine yakınsa etkileşim o kadar hızlı olur. Örneğin ağaçların ve diğer bitkilerin ses dalgalarını düzenli yaymada, yansıtma eğilimi ve gürültü kesmede iyi bir gürültü önleyici olduğu düşünülür. Yol kenarları gürültü kesici elemanları olarak; ağaçlandırma, duvar, set, şev ve tünel uygulanabilir [4]. Ses sönümlemenin en iyi yollarından bir tanesi ağaçlandırma ve bitkilendirme ile gürültünün azaltılmasıdır. Şevlerde yetiştirilen ses absorbe edici bodur bitkiler enine doğrultuda hızlı büyümediği, görüş açısını kapamadığı ve fazla bakım istemediği için gürültü önlemede oldukça elverişlidirler. Bitki örtüsü ile gürültü önlenemeyecek durumda ise gürültü önleyici bend duvarlar önerilir (Şekil 3). Arazinin topografik yapısının uygun olması durumunda doğal şevlerle gürültü önleme yoluna gidilir [11]. Gürültünün çok yüksek olması durumunda tüneller yardımıyla da gürültü önlenebilir, fakat maliyetinin yüksek olması dezavantajdır.



Şekil 3. Gürültü önleyici şev ve duvarlar [Anonim]



Şekil 4. Gürültü perdesi bulunan yol kesiti [12]



Şekil 5. Gürültü önleyici ağaçlar [13]

4. Tartışma ve Öneriler

Motorlu taşıtlardan kaynaklanan gürültü kirliliği üretim aşamalarında yapılan iyileştirmelerle büyük oranda azaltılmıştır. Ama araç kullanıcıları tarafından kaynaklanan gürültü kirliliği devam etmektedir. Taşıt kullanıcı kaynaklı gürültü kirliliği olarak da tanımlanabilen bu kirliliği azaltmak yasal uygulamalar, eğitim, kültür, çevre bilinci, ekonomik düzey ile doğrudan ilişkilidir.

Gürültü kirliliğinin, sürdürülebilir ve yeni teknolojiler kullanılarak azaltılması yönündeki çalışmalar yerel yönetimler ve merkezi yönetimler tarafından desteklenmeli ve sivil toplum kuruluşları problemin çözümünden toplumun bilinçlendirilmesi noktasında faaliyetler düzenlenmelidir. Ulaşım hatlarındaki gürültü kirlilik seviyesinin azaltılması ise yerleşim bölgelerinde yerel yönetimlerin sorunu olmakla birlikte toplumu ilgilendiren bir sorundur. Bunun için yapılacak en etkin yöntem otoban ve benzeri şehirleri birbirine bağlayan ana yolların yerleşim bölgesi dışından geçmesinin sağlanmasıdır. Bununla birlikte çevreyolu olarak da tanımlanan bu yolların çevresi; toplumun gelir sağlamak amacıyla veya çalışma bölgelerine yakın olmak amacıyla, kısa süre içerisinde yerleşim bölgeleri haline gelmektedir. Yönetmeliklerde yapılan düzenlemeler ile bu durumun önüne geçilmelidir.

Yeni piyasaya çıkan taşıtlar gürültü ve egzoz emisyonu açısından daha önce çıkan taşıtlara göre önemli ölçüde iyileştirilmiştir. Buna ek olarak yol kontrolleri sırasında çevreye zarar verdiği tespit edilen taşıtların trafiğe çıkışlarına gerekli işlemler yapıldıktan sonra izin verilmelidir.

Yerleşim bölgelerinde ağaçlandırma ve bitkilendirme ile gürültü önlenemiyor ise gürültü kesici perde ve bariyerler inşa edilmeli, mümkünse otoyollar yerleşim bölgeleri dışına taşınmalıdır.

Gürültü azaltıcı önlemlerin uygulanmasında maliyet ve ekonomiklik analizleri önemlidir. Bu uygulamalarda ek mali yük getirmeden, ekonomik ve uzun ömürlü gürültü önleyici uygulamaların tespiti oldukça önemlidir.

Gürültü azaltıcı sistemler arasında karşılaştırma yapılarak ekonomik olan parametreler tespit edilmeli, bu çerçevede kısa, orta ve uzun vadeli yapılabilecekler belirlenmelidir.

Kaynaklar

1. Xu Wang. (2010) *Vehicle noise and vibration refinement (*1.st edition*).* England:Woodhead publishing in mechanical Engineering.
2. Çerçevik,, A , Yerel Kandemir, S , Yıldız,, M , Çelik, M . (2018). Bilecik İli Şehir İçi Yollardan Kaynaklı Gürültü Kirliliğinin Ölçülmesi ve Değerlendirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 18 (1), 366-374. https://dergipark.org.tr
3. Jacyna, M., Wasiak, M., Lewczuk, K., Karoń, G. (2017). Noise and environmental pollution from transport: decisive problems in developing ecologically efficient transport systems. *Journal of Vibroengineering, 19*(7), 5639–5655. http://doi.org/10.21595/jve.2017.19371
4. Yüksel, F., Gökdağ, M., Çetin, M., (2002). Ulaşımda Araçlardan Kaynaklanan Gürültü Kirliliği ve Önleme Yöntemler. Standard (TSE ekonomik ve teknik dergi), vol.41, no.483, 89-94.
5. C.S. Papacostas., P.D. Prevedouros Prentice-Hall., (1993) International Editions Transportation Engineering and Planning.
6. TÜİK (Türkiye İstatistik Kurumu). (2020). Ankara.
7. Hintzsche M, Jäcker-Cüppers M, Kühne R, Heinz-Dieter Marohn, Dr. Lars Schade ., (2008). *Gürültü Azaltım Önlemleri El Kitabı*. T.C Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
8. Ovenden N, Shaffer S. Fernando H. (2011). How the weather affects the scale of urban noise pollution., 161 st Acoustical Society of America Meeting.
9. *Gürültü Kaynakları*. (2020). Millî Eğitim Bakanlığı, Ankara.
10. Yılmaz, H., & Özer, S., (1997). Gürültü Kirliliğinin Peyzaj Planlama Yönünden Değerlendirilmesi ve Çözüm Önerileri. Atatürk Üniversitesi. Ziraat Fakültesi Dergisi., vol.28, 515-530.
11. Krell, K., Probleme der Schallschirme an Werkehrswegen, I. V. 34, 5. H, 1982
12. Maraş E. E, Sesli F. A (2017). Karayolu Trafik Gürültü Değerlerinin Uygulama İmar Planlarına Entegrasyonu. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2), 430 - 441.
13. Martin. D., Trees and shrubs for noise control., www.trees.org.uk › Trees.org.uk › files

Indoor $PM_{2.5}$ Concentrations in Different Home Environments

Seda Naz SARICA*[1,a], Ayşe BODUR[2,b], Özlem ÖZDEN ÜZMEZ[2,c], Semra MALKOÇ[2,d]

[1] *Eskişehir Technical University, Graduate School of Sciences, Department of Environmental Engineering, 26555, Eskişehir*

[2] *Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, 26555, Eskişehir*

Abstract

Homes represent an indoor environment where people spend most of their time and are exposed to various indoor air pollutants. Thus, the objective of this study was to assess mass concentrations of $PM_{2.5}$ in different indoor environments (living area, bedroom, kitchen, bathroom, hallway) of three selected homes in Eskişehir, Turkey. Indoor/outdoor (I/O) concentration ratios were also calculated using simultaneous indoor and outdoor measurement results. Measurement studies were conducted between 23 February - 26 February 2021 and both midday and evening measurements were carried out for each home. One-hour measurements were performed by using DustTrak II 8530 aerosol monitors. Based on the study results, it was seen that specific activities performed in the homes played an important role on the $PM_{2.5}$ concentrations. Indoor concentrations measured in the evening periods were considerably higher than midday concentrations in all home environments since the household was at home in the evenings and the activities were more intense. The maximum midday (66.00 ± 17.22 $\mu g/m^3$) and evening (90.19 ± 19.38 $\mu g/m^3$) $PM_{2.5}$ concentrations were measured in the kitchen environment of Home 3, probably due to more intensive cooking activities. Apart from the kitchen, another indoor environment where the highest concentrations were measured was determined as hallway. When I/O ratios were evaluated, indoor $PM_{2.5}$ concentrations in living room, bedroom, kitchen and bathroom in Home 3 were higher than the outdoor concentrations for midday period. Except for the four indoor environments mentioned for Home 3, all I/O ratios obtained for all indoor environments of the homes were < 1. Since the highest outdoor concentrations were measured in Home 1, the lowest I/O ratios were found for this home in general. In general, $PM_{2.5}$ concentrations varied due to various factors such as presence of strong indoor sources, ventilation effect and traffic density in the locations of the homes.

Key words: Home Environment, Indoor Air Quality, $PM_{2.5}$.

[a] Seda Naz SARICA; sedanazsarica@gmail.com, Tel: (0537) 669 89 13, orcid.org/0000-0002-5160-6809

[b] orcid.org/0000-0002-6781-8363 [c] orcid.org/ 0000-0003-4310-788X [d] orcid.org/0000-0002-8092-411X

Farklı Ev Ortamlarında İç Ortam $PM_{2,5}$ Konsantrasyonları

Seda Naz SARICA*[1,a], Ayşe BODUR[2,b], Özlem ÖZDEN ÜZMEZ[2,c] , Semra MALKOÇ[2,d]

[1] *Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Bölümü, 26555, Eskişehir*

[2] *Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 26555, Eskişehir*

Özet

Evler, insanların zamanlarının çoğunu geçirdikleri ve çeşitli iç ortam hava kirleticilerine maruz kaldıkları kapalı ortamı temsil eder. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı, Türkiye Eskişehir'de seçilen üç evin farklı iç mekan ortamlarındaki (yaşam alanı, yatak odası, mutfak, banyo, koridor) $PM_{2,5}$ kütle konsantrasyonlarını değerlendirmektir. İç/Dış ortam (İ/D) konsantrasyon oranları da eş zamanlı iç ve dış ortam ölçüm sonuçları kullanılarak hesaplanmıştır. Ölçüm çalışmaları 23 Şubat - 26 Şubat 2021 tarihleri arasında yapılmış olup, her ev için hem öğle hem de akşam periyotlarında ölçümler gerçekleştirilmiştir. DustTrak II 8530 aerosol monitörleri kullanılarak bir saatlik ölçümler yapılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre, evlerde gerçekleştirilen belirli aktivitelerin $PM_{2,5}$ konsantrasyonları üzerinde önemli bir rol oynadığı görülmüştür. Akşam saatlerinde ölçülen iç ortam konsantrasyonları, evlerde yaşayan kişilerin akşamları evde olması ve faaliyetlerin daha yoğun olması nedeniyle tüm ev ortamlarında öğlen konsantrasyonlarından daha yüksek bulunmuştur. Maksimum öğle (66,00±17,22 $\mu g/m^3$) ve akşam (90,19±19,38 $\mu g/m^3$) $PM_{2,5}$ konsantrasyonları muhtemelen daha yoğun yemek pişirme faaliyetleri nedeniyle 3 no'lu evin mutfak ortamında ölçülmüştür. Mutfak dışında en yüksek konsantrasyonların ölçüldüğü bir diğer iç ortam ise koridor olarak belirlenmiştir. İç/Dış ortam oranları değerlendirildiğinde, 3 no'lu evdeki oturma odası, yatak odası, mutfak ve banyodaki iç ortam $PM_{2,5}$ konsantrasyonları, öğlen için dış ortam konsantrasyonlarından daha yüksek ölçülmüştür. 3 no'lu ev için belirtilen dört iç ortam dışında, evlerin tüm iç ortamları için elde edilen tüm İ/D oranları < 1 olarak bulunmuştur. En yüksek dış ortam konsantrasyonları 1 no'lu evde ölçüldüğü için en düşük İ/D oranları da bu ev için hesaplanmıştır. Genel olarak, $PM_{2,5}$ konsantrasyonları, güçlü iç ortam kaynaklarının varlığı, havalandırma etkisi ve evlerin bulundukları lokasyondaki trafik yoğunluğu gibi çeşitli faktörlerden dolayı değişiklik göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Ev Ortamı, İç Ortam Hava Kalitesi, $PM_{2,5}$.

1. Introduction

Indoor air quality is a significant concern due to the amount of time spent indoors. Some studies showed that people living in urban environment spend an average of 87% of their time indoors and only 6% outside (Jenkins et al., 1992; Wigzell et al., 2000). Indoor air pollution is an important health problem for both developing and developed countries. In low- and middle-income countries, indoor air pollution problems arise from the use of solid fuels such as firewood, coal and animal manure. Annually around 3.8 million premature deaths are as a result of diseases caused by indoor air pollution (WHO, 2019). The term of $PM_{2.5}$ generally refers to the respirable fraction of fine particles with aerodynamic diameter less than 2.5 micrometers mean (WHO, 2000). Some recent studies have focused on the relationship between outdoor air pollution and health problems (Yassin et al., 2012; Madureira et al., 2020). In some $PM_{2.5}$ measurement studies, a strong relationship was observed between outdoor concentrations and cardiac disease (Chen and Zhao, 2011; Ji and Zhao, 2015). The control of air pollution not only affects human health but also increases the quality of life and increases the level of welfare by reducing environmental problems (Steinle et al., 2015). In addition, over the past year, the time people spend at home has increased even more due to the pandemic. Since indoor air pollution exposure will be greater, the health effects may be greater than outdoors. Also, people may be exposed to indoor air pollutants for a long time at home. The most affected groups include the young, the elderly, and the chronically ill, especially those suffering from respiratory or heart condition (USEPA, 1995).

It is known that particles in the indoor environments generally have two sources: indoor activities and outdoor environment. The factors that determine which source is more dominant are air-exchange rate, outdoor PM level, indoor activities, aerodynamic diameters of the particles released into the environment (Branis et al., 2005; Wallace, 1996). In the absence of a dust-spreading activity such as smoking, heating or cooking in the indoor environment, other activities of people such as walking, cleaning cause dust, soil, skin rashes, fungal spores, paper and fabric fibers (Fromme et al., 2006).

Most of the studies focuse on the health effects of the particles are carried out based on the outdoor measurements performed in the city center. However, the variability of indoor and outdoor PM concentrations in different parts of the city reveals that the results of these studies cannot be generalized. Therefore, studies conducted in indoor and outdoor environments are needed. Many studies carried out in recent years have focused on the measurement of $PM_{2.5}$ levels in different types of indoor and outdoor environments (Martuzevicius et al., 2008; Steinle et al., 2015; Madureira et al., 2020). These studies showed that there was a strong correlation between the levels of the particles measured in the indoor environments and the particle levels measured in the outdoor environments.

Many scientists investigating indoor air pollution have conducted studies in different micro-environments such as residences, offices, cafes and workplaces (Massey et al., 2009; Mohammadyan et al.,2010 ; Kim et al., 2018; Eraslan, 2020; Hu et al., 2020). Indoor air quality is affected by many sources including outdoor pollutants leaking into indoor environment, human activities (such as cooking, cleaning) or homehold building materials, building surfaces and biological surfaces. One of the important sources of $PM_{2.5}$ in residential environments is often cited as the levels released from outdoor sources and entering indoor environments (Rivas et al., 2019). Insufficient ventilation can also increase indoor pollutant levels. High temperature and humidity levels can also increase the concentrations of some pollutants such as particulate matter, microbiological pollutants, carbon monoxide, nitrogen dioxide, radon and volatile organic compounds (USEPA, 1995).

In this study, three homes having different outdoor locations and indoor characteristics were selected in Eskişehir, Turkey. Indoor $PM_{2.5}$ measurement studies were performed in six different microenvironments such as hallway, living room, bedroom, kitchen and bathroom for each home. In addition to indoor measurement studies, outdoor measurements were also carried out simultaneously to evaluate the effect of outdoor air on indoor air and to determine indoor/outdoor (I/O) ratios for $PM_{2.5}$. These ratios were calculated for each indoor environment.

2. Material and Method

2.1. Characteristics of the Selected Homes

In this study, indoor and outdoor $PM_{2.5}$ mass concentrations were measured in three selected homes in Eskişehir, Turkey. Some parameters such as the number of people living and working at the homes, the size and locations of the homes, the number of rooms were considered while choosing homes. Hourly measurements were carried out in the living area, bedroom, kitchen, bathroom and hallway at each home. The Google Earth view of the homes included in the study is shown in Figure 1.



Figure 1. The homes included in the study: (a) Google Earth image showing three selected homes. (b) The location of the first home (Home 1) in Bahçelievler neighborhood. (c) The location of the second home (Home 2) in Aşağısöğütönü neighborhood. (d) The location of the third home (Home 3) in Akarbaşı neighborhood.

Home 1 is located in the city center and urban residential area. It is directly affected by the traffic and population density and 50 m away from Eskişehir (E90-D200) belt highway. This home is located

on the 4th floor of a 4-storey apartment building. The number of people living in this home is three and two of them are actively going to work. It has an average area of 85m^2 with 3 rooms , and natural ventilation (window) and aspirator are used as ventilation system. Home 2 is 10 km from the city center and located away from traffic and population density (suburban). This home is located on the 1st floor of a 4-storey apartment building. The number of people living in this home is four and one is actively working and one is a student (due to the pandemic, she continues distance education from home). The home has an average area of 90 m^2 and has 3 rooms. Natural ventilation (window) and aspirator are used as ventilation system. Home 3 is located in an urban residential area in the city. This location has moderate traffic and population density. It is located on the 2nd floor of a 9-storey apartment building and within walking distance of Eskişehir Göztepe Tram Station and 3 km from the city center. The number of people living in this home is three. Since one person does not work actively and the remaining two people are students, they spend their whole day at home. This home has 4 rooms and it has an average area of 100 m^2. Natural ventilation (window) and aspirator are used for ventilation demand. Specific characteristics of each home are given in Table 1.

Table 1. Specific characteristics of the selected homes

Home	Area of the Home and Floor Location	Ventilation Type	Measurement Points	Location	Number of People Living in the Home
Home 1	85 m^2. On the 4th floor of a 4-storey building	Aspirator and natural ventilation	Hallway, living room, bedroom, kitchen, bathroom and outdoor	In an urban residential area. 50 m away from Eskişehir (E90-D200) belt highway. High population and traffic density.	3 people live in this home. Two of them are actively going to work.
Home 2	90 m^2. On the 1st floor of a 4-storey building	Aspirator and natural ventilation	Hallway, living room, bedroom, kitchen, bathroom and outdoor	In a suburban area. 10 km from the city center. Low population and traffic density.	4 people live in this home. One of them is actively working and one of them is a student.
Home 3	100 m^2. On the 2nd floor of a 9-storey building	Aspirator and natural ventilation	Hallway, living room, bedroom, kitchen, bathroom and outdoor	In urban residential area. 3 km from the city center. Moderate traffic and population density.	3 people live in this home. Two of them are student.

The floor plans and indoor - outdoor measurement points of the selected homes are shown in Figure 2.

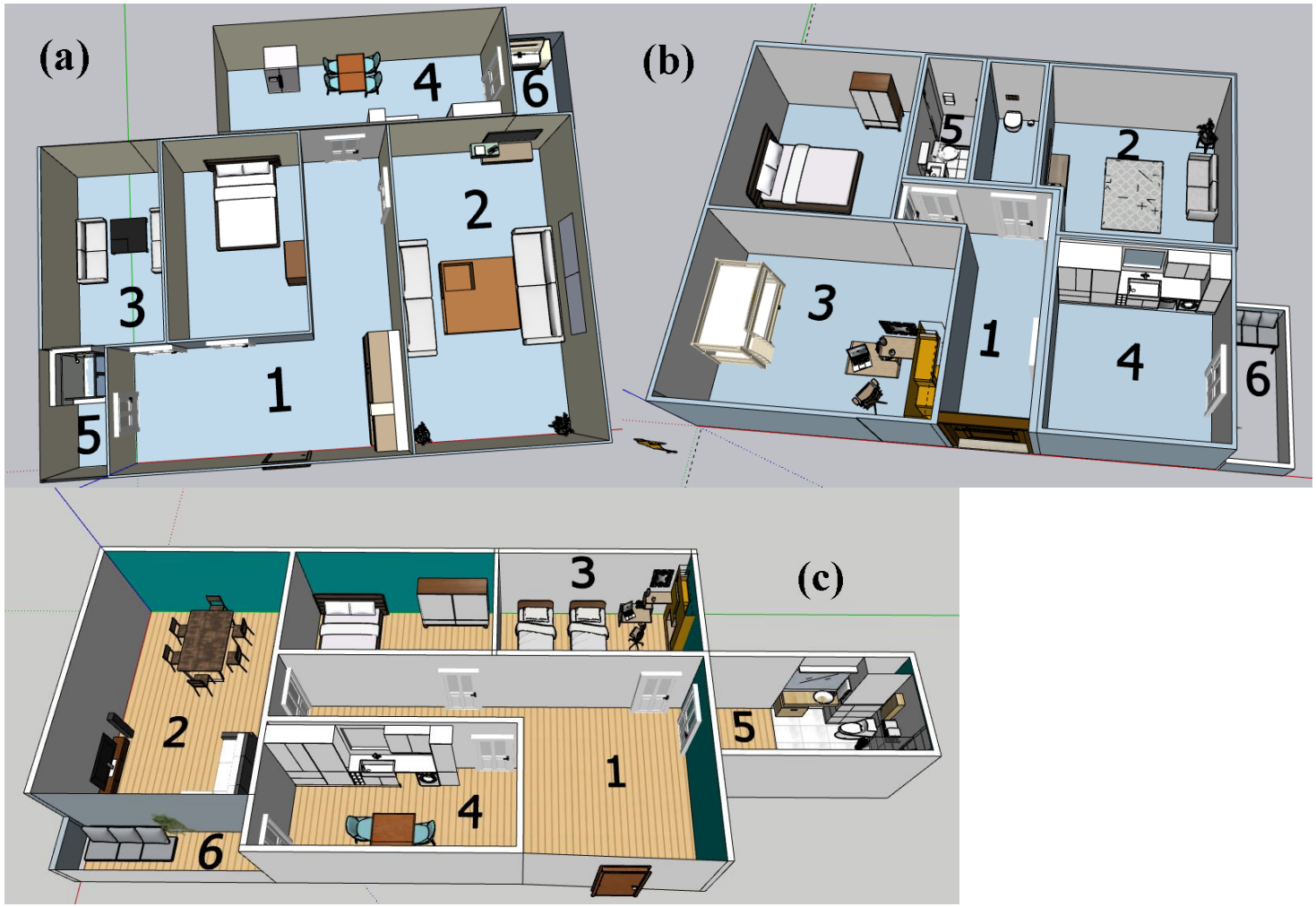


Figure 2. Floor plan and indoor - outdoor measurement points in a) Home 1, b) Home 2, c) Home 3.
*1: Hallway, 2: Living Room, 3: Bedroom, 4: Kitchen, 5: Bathroom, 6: Outdoor

2.2. Measurement Program and Method

Measurement studies were conducted between 23 February - 26 February 2021 in Eskişehir, Turkey. Midday and evening measurements were performed for each home. Also, indoor and outdoor concentrations were measured simultaneously during each period in each home. 1-hour $PM_{2.5}$ measurements were performed using 2 Dusttrak™ II 8530 Aerosol Monitors that can measure the mass concentration of aerosols in real time (Figure 3). The recording interval of the aerosol monitor was set to 1 minute and the monitor recorded 60 data for 1 hour. The aerosol concentration capacity of each monitor is in the range of 0.001 to 400 mg/m^3. Indoor and outdoor temperatures were also noted during the measurements. 120 data were recorded in 2 hours for each room. The device was placed away from contaminant sources (Figure 3).



Figure 3. DustTrak II aerosol monitors during measurement studies
(a) Home 2 – outdoor, b) Home 2 – indoor

3. Results and Discussion

3.1. Indoor $PM_{2.5}$ Concentrations

According to the results of Home 1 (Figure 4), the highest concentration was measured in the hallway (in average 41.63 ± 1.90 μg/m^3) during the midday. The reason for high concentration is the active use of the hallway for home entry and exit during measurement hours. The minimum

concentration was obtained in the bathroom (in average 28.88 ± 0.52 µg/m^3). According to the evening measurement results, the highest concentration was measured in the kitchen (in average 74.85 ± 3.10 µg/m^3). This high concentration is thought to be caused by cooking activities and also sweeping the kitchen with a vacuum cleaner after having dinner. The minimum concentration was measured in the bedroom (in average 42.68 ± 6.00 µg/m^3) during the evening.

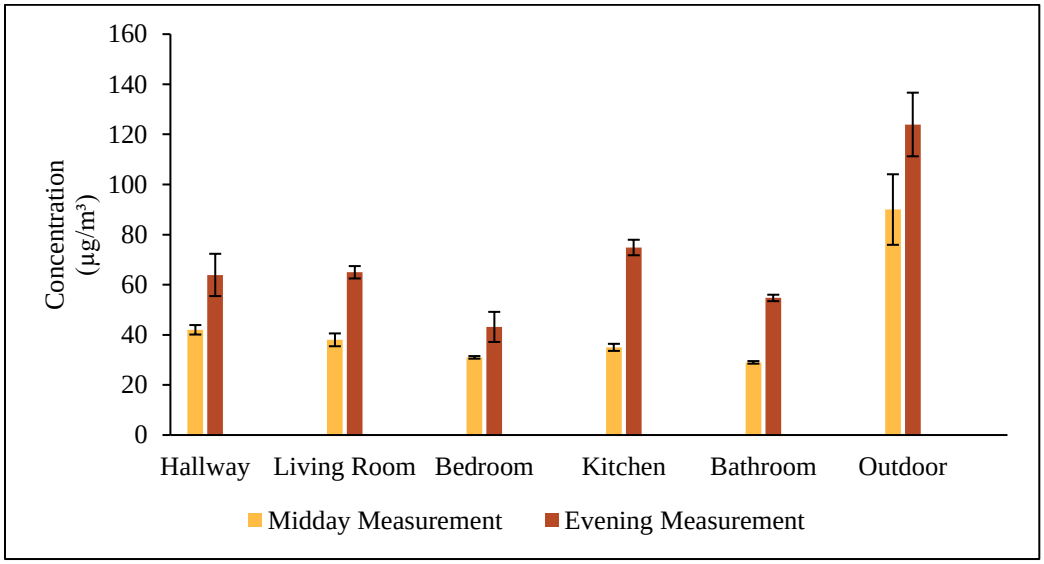


Figure 4. Indoor – Outdoor average $PM_{2.5}$ results for Home 1

When the results of Home 2 were evaluated (Figure 5), the highest concentration was measured in the hallway (in average 45.13 ± 1.46 µg/m^3) during the midday. This high concentration may be due to the working person coming home and taking off his coat. The minimum concentration was obtained in the bathroom (in average 16.52 ± 2.08 µg/m^3). According to the results of evening measurements, the maximum concentration was measured in the hallway (in average 54.10 ± 29.75 µg/m^3) which is similar to midday measurement. This high concentration may be caused by sweeping the corridor with a vacuum cleaner. The minimum concentration was measured in the bathroom (in average 35.25 ± 1.75 µg/m^3) during evening.

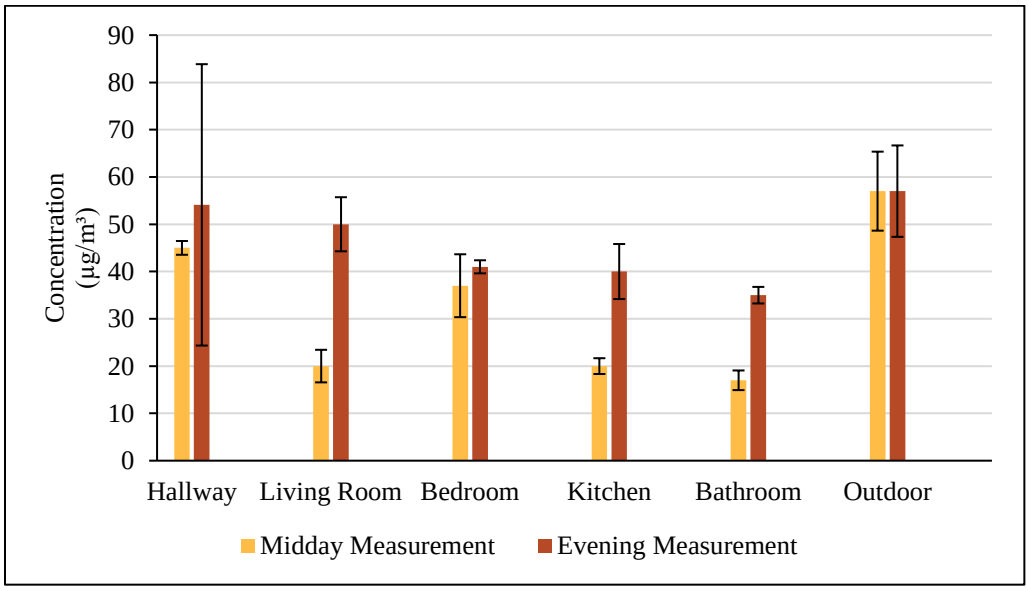


Figure 5. Indoor – Outdoor average $PM_{2.5}$ results for Home 2

According to the results of Home 3 (Figure 6), the highest concentration was obtained in the kitchen (in average 66.00 ± 17.22 µg/m^3) during the midday. Cooking activities and ventilation of the kitchen before having lunch can be effective on high concentration. The minimum concentration was obtained in the hallway (in average 37.20 ± 2.62 µg/m^3) in the midday period. The maximum concentration was measured in the kitchen (in average 90.19 ± 19.38 µg/m^3) during evening and the reason for this result is thought that the balcony door was open for the ventilation after having dinner. The minimum concentration was measured in the bathroom (in average 65.60 ± 4.35 µg/m^3) during the evening.

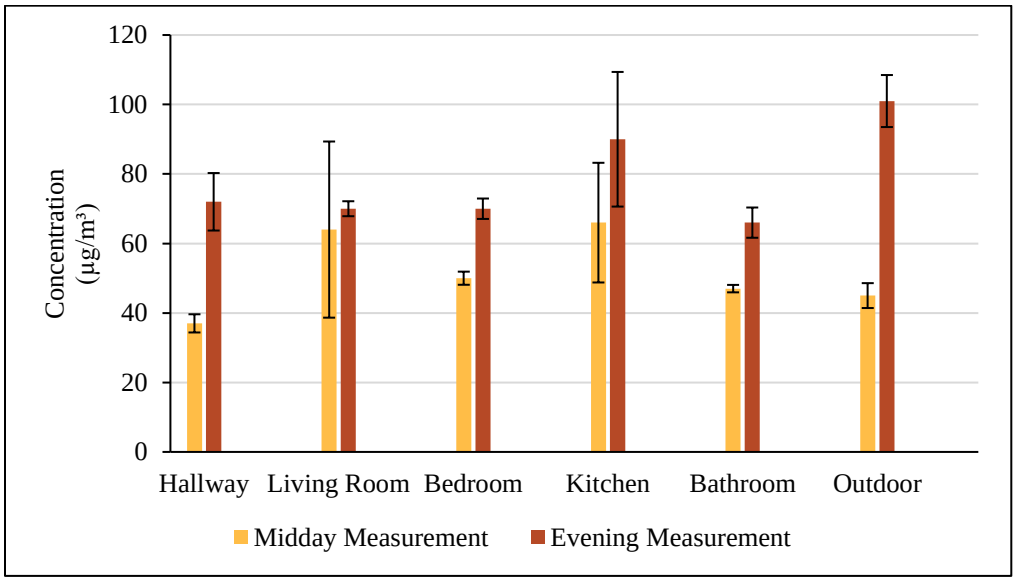


Figure 6. Indoor – Outdoor average $PM_{2.5}$ results for Home 3

Statistical parameters for all $PM_{2.5}$ measurements are given in Table 2. When the midday results of the indoor environments of the homes were compared, the hallway $PM_{2.5}$ concentration (in average 45.13 ± 1.46) in Home 2 was the highest. Average concentration for living room, bedroom and kitchen were 63.61 ± 25.35 µg/m³, 49.34 ± 1.89 µg/m³ and 47.09 ± 1.07 µg/m³, respectively for Home 3. These results were the highest concentrations when compared with the other homes. The most effective source for the highest concentrations is considered to be using the sewing machine during measurement period. Shaking the fabric during sewing also caused high standard deviations. Burning incense at home, opening the balcony door for ventilation and also taking a shower are other important sources of high concentrations.

According to the evening measurement results, the highest concentrations among all the indoor environments were measured in Home 3. Average hallway, living room, bedroom and kitchen concentrations were 72.37 ± 8.27 µg/m³, 69.78 ± 2.16 µg/m³, 70.18 ± 2.94 µg/m³, 90.19 ± 19.38 µg/m³ and 65.60 ± 4.35 µg/m³, respectively. Walking indoors, ventilation, cooking and burning incense resulted in high concentrations.

Table 2. Statistical parameters for the midday and evening $PM_{2.5}$ measurements (μg/m³)

Midday Measurement Results (μg/m³)		Hallway	Living Room	Bedroom	Kitchen	Bathroom	Outdoor
Home 1	Mean	41.63	37.97	31.43	34.97	28.88	90.47
	Standard Deviation	1.89	2.56	0.52	1.41	0.52	14.08
	Median	41.00	38.00	31.00	35.00	29.00	90.00
	Minimum	39.00	36.00	29.00	33.00	28.00	54.00
	Maximum	46.00	40.00	40.00	40.00	30.00	115.00
Home 2	Mean	45.13	20.37	37.18	20.22	16.52	56.55
	Standard Deviation	1.46	3.44	6.65	1.67	2.08	8.36
	Median	46.00	19.00	40.00	21.00	16.00	58.50
	Minimum	42.00	16.00	24.00	17.00	14.00	42.00
	Maximum	49.00	27.00	44.00	24.00	22.00	69.00
Home 3	Mean	37.20	63.61	49.34	66.00	47.09	45.28
	Standard Deviation	2.62	25.35	1.89	17.22	1.07	3.58
	Median	37.00	53.00	49.00	58.00	47.00	45.00
	Minimum	34.00	42.00	46.00	49.00	45.00	39.00
	Maximum	45.00	115.00	54.00	100.00	49.00	52.00

Evening Results (μg/m³)	Measurement	Hallway	Living Room	Bedroom	Kitchen	Bathroom	Outdoor
Home 1	Mean	63.38	64.97	42.68	74.85	54.72	123.95
	Standard Deviation	8.44	2.47	6.00	3.10	1.29	12.70
	Median	60.00	65.00	41.00	74.00	54.00	119.50
	Minimum	53.00	60.00	31.00	71.00	53.00	107.00
	Maximum	87.00	70.00	54.00	87.00	57.00	155.00

Home 2	Mean	54.10	49.85	41.08	39.82	35.25	56.55
	Standard Deviation	29.75	5.72	1.38	5.81	1.75	9.67
	Median	50.00	48.00	41.00	40.00	34.50	54.00
	Minimum	28.00	42.00	39.00	28.00	34.00	44.00
	Maximum	151.00	64.00	44.00	56.00	40.00	85.00
Home 3	Mean	72.37	69.78	70.18	90.19	65.60	100.92
	Standard Deviation	8.27	2.16	2.94	19.38	4.35	7.49
	Median	74.50	69.00	69.00	83.00	65.00	99.00
	Minimum	60.00	68.00	66.00	71.00	59.00	90.00
	Maximum	83.00	79.00	77.00	161.00	82.00	118.00

3.2. Indoor/Outdoor Concentration Ratios

Indoor/Outdoor concentration ratios were calculated for each microenvironment of each home (Table 3).

Table 3. Indoor/Outdoor ratios of $PM_{2.5}$ concentrations

	Home 1		**Home 2**		**Home 3**	
	Midday	**Evening**	**Midday**	**Evening**	**Midday**	**Evening**
Hallway	0.46 ± 0.11	0.51 ± 0.10	0.78 ± 0.14	0.95 ± 0.60	0.82 ± 0.09	0.71 ± 0.12
Living Room	0.42 ± 0.08	0.52 ± 0.06	0.35 ± 0.04	0.88 ± 0.18	1.42 ± 0.48	0.69 ± 0.06
Bedroom	0.34 ± 0.10	0.34 ± 0.07	0.64 ± 0.06	0.72 ± 0.09	1.11 ± 0.11	0.69 ± 0.06
Kitchen	0.38 ± 0.06	0.60 ± 0.05	0.35 ± 0.08	0.70 ± 0.05	1.46 ± 0.39	0.89 ± 0.25
Bathroom	0.32 ± 0.06	0.44 ± 0.05	0.29 ± 0.09	0.61 ± 0.07	1.04 ± 0.07	0.65 ± 0.07

When $PM_{2.5}$ I/O ratios were evaluated for Home 1, the outdoor concentration was very high compared to other homes. The outdoor $PM_{2.5}$ concentration measured in Home 1 was high due to its proximity to Eskişehir (E90-D200) belt highway (50 m away). So, all I/O ratios were < 1 at both midday and evening periods (I/O = 0.32-0.60). In general, evening I/O ratios were higher than midday ratios at Home 1. Similar results were obtained for Home 2. Although the lowest outdoor concentrations were obtained for Home 2, I/O ratios were found to be <1 since the indoor

concentrations were also low (I/O = 0.35-0.95). All I/O ratios obtained for evening period were higher than midday results. For Home 3, all I/O ratios were > 1 (I/O = 1.04-1.46) except hallway ratio (I/O = 0.82) found in midday period.

3.3. Comparison of the Study Results with the Literature

Literature studies were examined for different home environments and comparison with the literature results are given in Table 4. The results obtained in this study showed some differences with some studies. This can be due to different factors such as the number of people living in the homes, human activities and the ventilation systems.

Table 4. Comparison of the obtained results with the results of the literature studies (μg/m^3)

Environment	**Measurement Points**	**$PM_{2.5}$ Concentration**		**Measurement Duration**	**Reference**
		Midday	Evening		
Indoor (Home 1)	Hallway	41.63	63.38	Two measurement periods as midday and evening (1hour measurement for each time period)	This Study
	Living Room	37.97	64.97		
	Bedroom	31.43	42.68		
	Kitchen	34.97	74.85		
	Bathroom	28.88	54.72		
Indoor (Home 2)	Hallway	45.13	54.10		
	Living Room	20.37	49.85		
	Bedroom	37.18	41.08		
	Kitchen	20.22	39.82		
	Bathroom	16.52	35.25		
Indoor (Home 3)	Hallway	37.20	72.37		
	Living Room	63.61	69.78		
	Bedroom	49.34	70.18		
	Kitchen	66.00	90.19		
	Bathroom	47.09	65.60		

Table 4. *(Continued)* Comparison of the obtained results with the results of the literature studies (μg/m^3)

Environment	Measurement Points	$PM_{2.5}$ Concentration	Measurement Duration	Reference
Indoor (Home 1)	Living Room	36.06	24 hours	Yassin et. al., 2012
	Kitchen	46.20		
	Bedroom	31.50		
Indoor (Home 2)	Living Room	60.96		
	Kitchen	88.15		
	Bedroom	23.68		
Indoor (Home 3)	Living Room	27.74		
	Kitchen	59.40		
	Bedroom	24.43		
Indoor (Home 4)	Living Room	22.42		
	Kitchen	58.56		
	Bedroom	24.20		
Indoor (Home 5)	Living Room	26.98		
Indoor (Home 6)	Living Room	49.40		
Indoor (Home 7)	Living Room	59.40		
Indoor (Home 8)	Living Room	58.55		
Indoor (Home 9)	Living Room	52.96		
Indoor (Home 10)	Living Room	46.20		
Indoor (Home 1)	Living Room	207.00	24 hours	Massey et. al., 2009
Indoor (Home 2)	Living Room	146.00		
Indoor (Home 1)	Kitchen	80.00	24 hours	Li et. al., 2016
	Bedroom	80.00		
Indoor (Home 1)	Living Room	8.00	48 hours	Wigzell et. al., 2000
	Kitchen	8.00		
Indoor (Home 2)	Living Room	19.00		
	Kitchen	18.00		

Indoor (Home 3)	Living Room	6.00
	Kitchen	5.00
Indoor (Home 4)	Living Room	12.00
	Kitchen	10.00
Indoor (Home 5)	Living Room	71.00
	Kitchen	77.00
Indoor (Home 6)	Living Room	11.00
	Kitchen	15.00
Indoor (Home 7)	Living Room	6.00
	Kitchen	10.00
Indoor (Home 8)	Living Room	-
	Kitchen	20.00
Indoor (Home 9)	Living Room	6.00
	Kitchen	7.00
Indoor (Home 10)	Living Room	12.00
	Kitchen	13.00

4. Conclusion

In consequence of the pandemic, people spend most of their time at home. For this reason, many people are more exposed to air pollution indoors than outdoors, and accordingly they are more affected. In this study, indoor-outdoor $PM_{2.5}$ concentrations and also indoor/outdoor ratios (I/O) were determined for different home environments in Eskişehir. Measurement studies were carried out in two periods such as midday and evening. It was found that there is a relationship between indoor activities and $PM_{2.5}$ concentrations. According to the indoor measurement results, the concentrations measured in the evening period were quite higher than the midday results. Increasing activity in the homes and the returning of working householders to their home affected this results. Outdoor concentrations were also higher in the evening. Outdoor concentrations varied depends on the locations of the homes. The highest outdoor concentrations were determined in Home 1 due to its proximity to Eskişehir (E90-D200) belt highway. High outdoor concentrations were followed by Home 2 and Home 1, respectively. All I/O ratios were found to be > 1 except for the hallway in the midday period in Home 3. This result showed that indoor $PM_{2.5}$ sources were effective in these indoor environments in Home 3. As a result, $PM_{2.5}$ concentrations were affected by various factors such as locations of the homes, outdoor traffic density, ventilation and different indoor activities during midday and evening hours of the day.

References

Branis, M., Rezacova, P., & Domasova, M. (2005). The effect of outdoor air and indoor human activity on mass concentrations of PM10, PM2.5 and PM1 in a classroom. *Environmental Research*, 143-149.

Chen, C., & Zhao, B. (2011). Review of relationship between indoor and outdoor particles: I/O ratio, infiltration factor and penetration factor. *Atmospheric Environment*, 45(2), 275-288.

Eraslan, Fatma Nur. *Determining Indoor Air Quality and Investigating Employees' Personal Exposure in Different Workplaces.* Master's thesis, Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, 2020.

Fromme, H., Twardella, D., Dietrich, S., Heitmann, D., Schierl, R., Liebl, B., & Rüden, H. (2007). Particulate matter in the indoor air of classrooms—exploratory results from Munich and surrounding area. *Atmospheric Environment*, *41*(4), 854-866.

Hu, J., Li, N., Zou, S., Yoshino, H., Yanagi, U., Yu, C. W., & Qu, H. (2020). Indoor environmental conditions in schoolchildren's homes in central-south China. *Indoor and Built Environment*, *29*(7), 956-971.

Jenkins, P. L., Phillips, T. J., Mulberg, E. J., & Hui, S. P. (1992). Activity patterns of Californians: use of and proximity to indoor pollutant sources. *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*, *26*(12), 2141-2148.

Ji, W., & Zhao, B. (2015). Contribution of outdoor-originating particles, indoor-emitted particles and indoor secondary organic aerosol (SOA) to residential indoor PM2.5 concentration: A model-based estimation. *Building and Environment*, 90, 196-205.

Kim, H., Kang, K., & Kim, T. (2018). Measurement of particulate matter (PM2.5) and health risk assessment of cooking-generated particles in the kitchen and living rooms of apartment houses. *Sustainability*, *10*(3), 843.

Li, T., Cao, S., Fan, D., Zhang, Y., Wang, B., Zhao, X., ... & Duan, X. (2016). Household concentrations and personal exposure of PM2.5 among urban residents using different cooking fuels. *Science of the Total Environment*, *548*, 6-12.

Madureira, J., Slezakova, K., Costa, C., Pereira, M. C., & Teixeira, J. P. (2020). Assessment of indoor air exposure among newborns and their mothers: Levels and sources of PM10, PM2.5 and ultrafine particles at 65 home environments. *Environmental Pollution*, *264*, 114746.

Martuzevicius, D., Grinshpun, S. A., Lee, T., Hu, S., Biswas, P., Reponen, T., & LeMasters, G. (2008). Traffic-related PM2.5 aerosol in residential houses located near major highways: Indoor versus outdoor concentrations. *Atmospheric Environment*, *42*(27), 6575-6585.

Massey, D., Masih, J., Kulshrestha, A., Habil, M., & Taneja, A. (2009). Indoor/outdoor relationship of fine particles less than 2.5 μm (PM2.5) in residential homes locations in central Indian region. *Building and Environment*, *44*(10), 2037-2045.

Mohammadyan, M., Ashmore, M., & Shabankhani, B. (2010). Indoor PM2.5 concentrations in the office, café, and home. *International Journal of Occupational Hygiene*, 57-62.

Rivas, I., Fussell, J. C., Kelly, F. J., & Querol, X. (2019). Indoor sources of air pollutants. In R. M. Harrison & R. E. Hester (Eds.), *Indoor Air Pollution* (pp. 1–34).

Steinle, S., Reis, S., Sabel, C. E., Semple, S., Twigg, M. M., Braban, C. F., ... & Wu, H. (2015). Personal exposure monitoring of PM2.5 in indoor and outdoor microenvironments. *Science of the Total Environment*, *508*, 383-394.

USEPA (1995). *The Inside Story: A Guide to Indoor Air Quality* (EPA 402-K-93-007). https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/000003M1.PDF?Dockey=000003M1.PDF

Wallace, L. (1996). Indoor particles: a review. *Journal of the Air & Waste Management Association*, *46*(2), 98-126.

Wigzell, E., Kendall, M., & Nieuwenhuijsen, M. J. (2000). The spatial and temporal variation of particulate matter within the home. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, *10*(3), 307-314.

WHO (2019). *Healthy environments: why do they matter and what can we do?* (No. WHO/CED/PHE/DO/19.01).

WHO (2000). Air quality guidelines for Europe: second edition. World Health Organization. Regional Office for Europe. https://apps.who.int/iris/handle/10665/107335.

Yassin, M. F., Althaqeb, B. E., & Al-Mutiri, E. A. (2012). Assessment of indoor PM2.5 in different residential environments. *Atmospheric Environment*, *56*, 65-68.

Kereste Endüstrisinde Kullanılan Bazı Makinelerin Gürültü Seviyelerinin Belirlenmesi

Hakan Adanur*[1,a], Aytaç Aydın[2,b], Sebahattin Tiryaki[1,c]
[1]Karadeniz Teknik Üniversitesi, Arsin Meslek Yüksekokulu, Trabzon
[2]Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Öz

Gürültü, sanayi ortamında, en sık karşılaşılan sağlık risklerinden birisi olup iş yerlerinde pek çok faktör gürültüye neden olabilmektedir. Endüstriyel makineler bu faktörlerin en önemlileri arasında yer almaktadır. Makine kullanımının ve buna bağlı gürültü maruziyetinin yüksek olduğu çalışma alanlarından birisi de kereste endüstrisi işletmeleridir. Kereste endüstrisi, ülkemizde imalat sanayi içinde önemli bir yere sahiptir. Bununla beraber, kereste imalatının büyük bir kısmı küçük ve orta ölçekli işletmelerde yapılmaktadır. Doğal olarak, bu üretim faaliyetlerinden kaynaklanan gürültü en fazla bu iş yerlerindeki çalışanları etkilemektedir. Bu çalışmada, Trabzon ilinde kereste imalatı yapılan işletmelerde yaygın olarak kullanılan bazı makinelerin gürültü seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, makinelerin boş ve yüklü durumdaki gürültüleri ölçülmüş ve ortalama gürültü düzeyleri hesaplanmıştır. Ölçümler sonucunda ulaşılan bulgular, SPSS ve Excel yazılımları kullanılarak değerlendirilmiştir. 85 dB(A) ve üzerinde olan gürültü seviyeleri riskli maruziyetler olarak kabul edilmiş ve bu değer üzerinde gürültü üreten makineler belirlenmiştir. Sonuç olarak, dikkate alınan işletmelerde makineler boş ve yüklü durumda çalışırken yapılan ölçümlerde belirlenen gürültü düzeyinin tüm makineler için 85 dB(A) sınırını aştığı anlaşılmıştır. Bu sonuçlar, seçilen işletmelerde çalışanlar için gürültünün bir risk oluşturduğunu ve gerekli koruyucu ekipman kullanımının önemini ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: Çalışma ortamı, Gürültü seviyesi, Kereste endüstrisi makineleri

Determination of Noise Levels of Some Machines Used in Timber Industry

Abstract

Noise is one of the most common health risks in the industrial environment, and many factors can cause noise in workplaces. Industrial machines are among the most important of these factors. One of the working areas where the use of machinery and thus exposure to noise is high is the timber industry enterprises. The timber industry has an important place in the manufacturing industry in our country. At the same time, most of the timber production is done in small and medium sized enterprises. Naturally, noise arising from these production activities most affects the workers in these workplaces. In this study, it was aimed to determine the noise levels of some machines commonly used in timber manufacturing enterprises in Trabzon province. For this purpose, the noise of the machines in empty and full conditions was measured and the average noise levels were calculated. The findings obtained as a result of the measurements were evaluated by using SPSS and Excel software. Noise levels of 85 dB (A) and above were considered as risky exposures, and machines that generate noise above this value

have been identified. As a consequence, it was understood that the noise level determined in the measurements made while the machines were working in empty and full conditions in the enterprises considered exceeded the limit of 85 dB (A) for all machines. These results revealed that the noise poses a risk for workers in the selected enterprises and the importance of using the necessary protective equipment.

Keywords: Working environment, Noise level, Timber industry machinery

1. Giriş

İşletmeler arasındaki rekabetin giderek daha yoğun hale gelmesi ile beraber, özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler kaynaklarını en etkili şekilde kullanmaya azami gayret göstererek maliyetlerini azaltmaya büyük uğraş vermektedirler. Çoğu işletme açısından bu kaynakların en önemlilerinden birisinin işgücü olduğunu ifade etmek mümkündür. İşletmeler açısından bu kadar büyük öneme sahip olan işgücünden en verimli şekilde faydalanabilmek için işgücüne veya çalışanlara uygun çalışma ortamlarının hazırlanması oldukça önemlidir. Arzu edilen uygun koşullar sağlanamadığında, çalışanlar kendilerini rahat hissetmedikleri için performanslarında bir azalma ile karşılaşılabilmektedir (Sönmez vd., 2009). Çalışanların sağlığı üzerine olan etkilerine ek olarak çalışan performansı üzerine de kayda değer etkileri olabilecek faktörlerden birisi de gürültüdür (Doğan ve Aslan Çataltepe, 2018).

İnsanların çeşitli ortamlarda algıladıkları seslerden rahatsızlık duymaya başlamaları, ses kaynaklarının artık gürültü kirliliği olarak değerlendirilmesi anlamına gelmektedir (Serin vd., 2013). Bu doğrultuda, gürültüyü, istenmeyen veya arzu edilmeyen ses olarak tanımlamak mümkündür. Gürültünün insan sağlığı üzerine çok sayıda etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Bu etki, fizyolojik (yüksek tansiyon, kalp ritimlerinde düzensizlik, ülser), psikolojik (stres, sinirlilik), performans (üretkenlikte azalma) ve fiziksel (işitme kaybı) etki olmak üzere farklı şekillerde kendini gösterebilmektedir (Subramaniam vd., 2019). Gürültünün gelişmiş ülkelerde yetişkin işitme kaybının önemli nedenlerinden biri olduğu rapor edilmiştir (Dobie, 2008). İşyerlerinde yüksek gürültü seviyelerine maruz kalınması, işle ilgili kazalarda önemli bir artışla ilişkilendirilmektedir. Ek olarak, mesleki gürültüye bağlı işitme kaybı işle ilgili en sık görülen rahatsızlık olarak kabul edilmektedir (Dimou, 2014).

Kereste endüstrisi çalışanları, çeşitli faktörlere bağlı olarak farklı gürültü seviyelerine maruz kalmaktadırlar. Arzu edilmeyen seviyelerde gürültü maruziyeti olan işyerlerindeki gürültü maruziyetinin azaltılması, kontrol edilebilmesi ya da çalışanlar için zararlı olmaktan çıkartılması oldukça önemlidir. Bu açıdan bakıldığında işyerlerinde makinelerin oluşturduğu gürültü seviyesinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu yüzden, bu çalışmada, Trabzon ilinde faaliyet gösteren küçük ölçekli kereste işletmelerinde yaygın olarak kullanılan bazı makinelerin gürültü düzeylerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Bu çalışmada, Trabzon ilinde kereste üretimi alanında faaliyet gösteren işletmelerde yaygın olarak kullanılan bazı makinelerin gürültü seviyeleri ölçülmüştür. Bu kapsamda, ölçüm yapılan

işletmeler çalışma alanında yeterli sayıda büyük ölçekli kereste işletmesi bulunmamasından ötürü küçük ölçekli işletmelerden oluşmaktadır.

Çalışma kapsamında gürültü ölçümü gerçekleştirilen makineler; arabalı şerit testere makinesi, yarma şerit testere (markül) makinesi, yan alma makinesi ve çoklu dilme makinesidir. Bu makinelerin tamamı dikkate alınan tüm işletmelerde bulunmamaktadır. Bundan dolayı, gürültü ölçümü yapılan işletmeler makine bazında farklılık gösterebilmektedir. Bununla beraber, yukarıda da ifade edildiği gibi, gürültü ölçümü için dikkate alınan işletmeler küçük ölçekli olup çalışan sayıları çoğunlukla 5 kişiden daha azdır. Ölçümler, Trabzon ilinde Ticaret ve Sanayi Odasına kayıtlı 22 işyerinde gerçekleştirilmiştir.

2.2. Yöntem

Bu çalışmada Trabzon'da kereste üretiminin yapıldığı bazı işletmelerde yaygın olarak kullanılan makinelerin boş ve yüklü durumda çalışırken ürettikleri gürültü ölçülmüştür. Ölçümler işçilerin bulundukları konumlarda kulak yüksekliğinde, makine boş ve dolu durumda çalışırken üç dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Bu süre içerisinde cihaz belirli aralıklarla anlık gürültüyü kaydederek ölçme işlemi sonucunda bir ortalama gürültü değeri vermektedir. Ölçümler öncesinde cihazın kalibrasyonunun yapılmasına özen gösterilmiş olup ölçümler çalışanın makineyi kullanırken durduğu yerde yapılmıştır. İşletmelerde gürültü ölçümü için kullanılan cihaz DELTA OHM HD 2010 Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. DELTA OHM HD 2010 gürültü ölçüm cihazı

Gürültü ölçümü için kullanılan endüstri tipi cihazların hassasiyeti 0.1-0.5 dB(A) arasındadır. Bu tip ölçüm cihazlarında A, B, C, D ağırlıklı skalalara sahip elektronik devreler bulunmaktadır. Gürültünün kişiye olan etkisinin incelenmesi durumunda A skalası kullanılmaktadır (Esen, 2010). Bu doğrultuda, bu çalışma kapsamında ölçülen gürültü düzeylerinde dB(A) skalası kullanılmıştır.

28721 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan "Çalışanların Gürültü ile İlgili Risklerden Korunmalarına Dair Yönetmelik"te en yüksek maruziyet eylem değeri 8 saat için 85dB(A) ve en düşük maruziyet eylem değeri 8 saat için 80dB(A) olarak belirtilmiştir (URL-1). Bu nedenle, şu anki çalışmada makine bazında elde edilen gürültü ölçüm değerleri en yüksek maruziyet eylem değeri (MED_{max}) olan 85dB(A) ve en düşük maruziyet eylem değeri (MED_{min}) olan 80dB(A) ile karşılaştırılmıştır.

Gerçekleştirilen gürültü ölçümleri sonucu ulaşılan bulgular SPSS ve Excel programlarında değerlendirilerek her makine türü için ortalama gürültü düzeyi, standart sapma değeri ile en yüksek gürültü ölçüm değeri ve en düşük gürültü ölçüm değeri ortaya konulmuştur. Ek olarak, ulaşılan bulgular tablo ve şekiller kullanılarak sunulmuştur.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Trabzon ilinde kereste üretiminin gerçekleştirildiği bazı işletmelerde, yaygın olarak kullanılan bazı makinelerin boş ve yüklü haldeki gürültü düzeyleri tespit edilmiş ve elde edilen bulgular (ortalama gürültü ölçüm değeri, standart sapma değeri, en düşük gürültü ölçüm değeri ve en yüksek gürültü ölçüm değeri) tablo ve şekiller kullanılarak sunulmuştur.

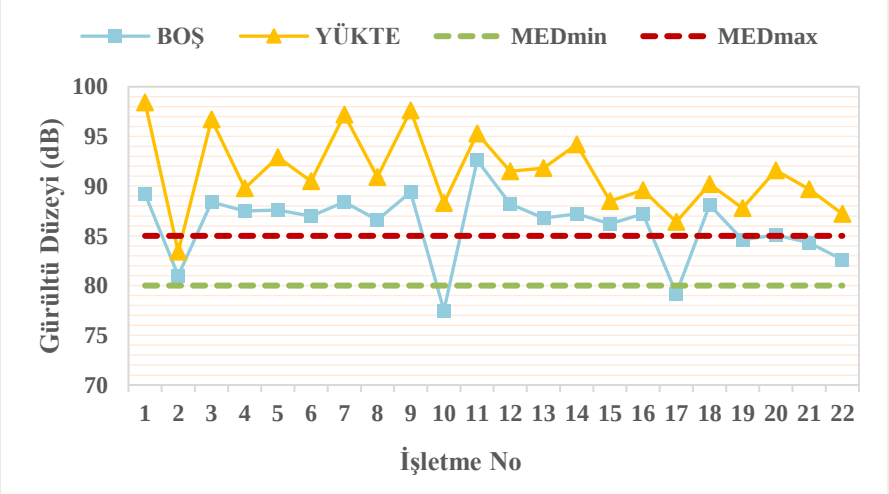
Ölçümlerin gerçekleştirildiği kereste işletmelerde arabalı şerit testere makinesi için boş ve yüklü haldeki ortalama gürültü düzeyi, standart sapma değeri ile en düşük ve en yüksek gürültü değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu makine için 22 kereste işletmesinde gürültü ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Arabalı şerit testere makinesi için boş ve yüklü durumdaki gürültü ölçüm sonuçları

Arabalı şerit testere makinesi	Ortalama dB(A)	Standart sapma	En düşük dB(A)	En yüksek dB(A)
Boş	86.1	3.49	77.5	92.6
Yüklü	91.3	3.92	83.4	98.4

Tablo 1 incelendiğinde, ilgili işletmelerde kullanılan arabalı şerit testere makinesinin boş halde çalıştığında ortalama olarak 86.1dB(A) seviyesinde bir gürültü ürettiği, yüklü halde çalışırken ise 91.3dB(A) seviyesinde bir gürültü değeri ürettiği görülmektedir. Tablo 1'de makinenin hem boş hem de yüklü durumda çalıştığında elde edilen ortalama gürültü seviyesinin MED_{max} olan 85 dB(A) değerinin üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu makine için gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen en yüksek ve en düşük gürültü değerleri ise makine boş durumda çalışırken sırasıyla 92.6dB(A) ve 77.5dB(A) iken makine yüklü durumda çalıştığında sırasıyla 98.4dB(A) ve 83.4dB(A) olarak tespit edilmiştir.

Şekil 2'de ölçüm yapılan işletmelerdeki arabalı şerit testere makinesinin boş ve yüklü halde çalışırken ölçülen gürültü düzeyleri ile MED_{min} ve MED_{max} işletme bazında karşılaştırılmaktadır.



Şekil 2. Arabalı şerit testere makinesi için boş ve yükteki gürültü düzeylerinin MED_{min} ve MED_{max} ile karşılaştırılması

Şekil 2 incelendiğinde, makinelerin boş çalışırken ölçülen gürültü değerinin yüklü durumda çalışırken ulaşılan gürültü değerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, Şekil 2'de görüldüğü gibi makineler boş çalışırken elde edilen gürültü değerleri çok az işletmede MED_{min} değerinden düşük olarak bulunmuş, diğer kereste işletmelerinde ise bu değerden daha yüksek gürültü değerleri ölçülmüştür. İşletmelerdeki arabalı şerit testere makinelerinin yüklü çalışırken yapılan ölçümlerinde ise sadece bir kereste işletmesinde MED_{max} değerinden düşük gürültü değerine ulaşılmış, diğer işletmelerde ise daha yüksek gürültü değerleri elde edilmiştir.

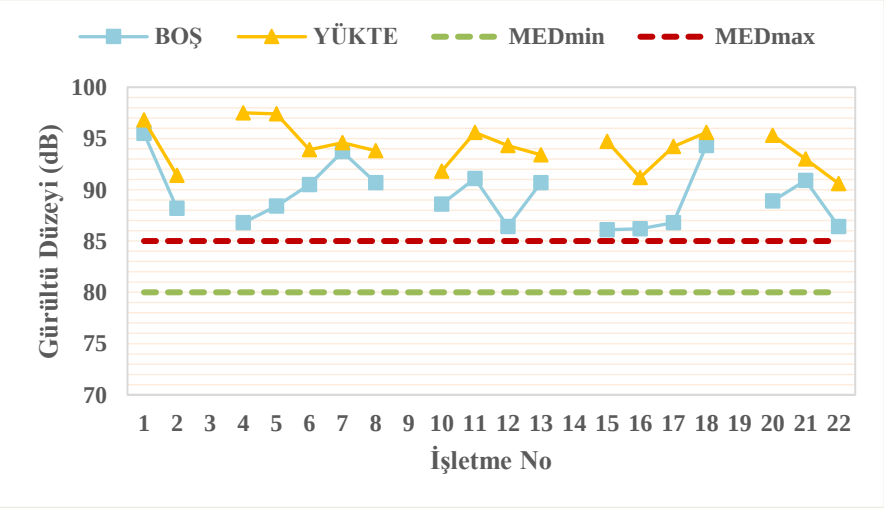
Tablo 2'de ölçümlerin yapıldığı işletmelerde yarma şerit testere (markül) makinesine ait boş ve yüklü haldeki ortalama gürültü değeri, standart sapma değeri ile en düşük ve en yüksek gürültü değerleri verilmiştir. Bu makine için gürültü ölçümleri 18 işletmede gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2. Yarma şerit testere makinesi için boş ve yüklü durumdaki gürültü ölçüm sonuçları

Markül	Ortalama dB(A)	Standart sapma	En düşük dB(A)	En yüksek dB(A)
Boş	89.4	2.92	86.1	95.5
Yüklü	94.2	2.05	90.6	97.5

Tablo 2 incelendiğinde, ilgili işletmelerde kullanılan yarma şerit testere makinesinin boş halde çalıştığında ortalama olarak 89.4dB(A) seviyesinde bir gürültü ürettiği, yüklü halde çalışırken ise 94.2dB(A) seviyesinde bir gürültü değeri ürettiği görülmektedir. Tablo 2'de makinenin hem boş hem de yüklü durumda çalıştığında elde edilen ortalama gürültü seviyesinin MED_{max} olan 85dB(A) seviyesinin üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu makine için gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen en yüksek ve en düşük gürültü değerleri ise makine boş durumda çalışırken sırasıyla 95.5dB(A) ve 86.1dB(A) iken makine yüklü durumda çalıştığında sırasıyla 97.5dB(A) ve 90.6dB(A) olarak tespit edilmiştir.

Şekil 3'de ölçüm yapılan işletmelerdeki yarma şerit testere makinesinin boş ve yüklü halde çalışırken ölçülen gürültü değerleri ile MED_{min} ve MED_{max} işletme bazında karşılaştırılmaktadır.



Şekil 3. Yarma şerit testere makinesi için boş ve yükteki gürültü düzeylerinin MED_{min} ve MED_{max} ile karşılaştırılması

Şekil 3 incelendiğinde, makinelerin boş çalışırken ölçülen gürültü değerinin yüklü durumda çalışırken ulaşılan gürültü değerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, Şekil 3'de görüldüğü gibi makineler hem boş hem de yüklü durumda çalışırken gerçekleştirilen ölçümlerde tüm kereste işletmelerinde MED_{min} ve MED_{max} değerinden yüksek gürültü değerlerine ulaşılmıştır. Öte yandan, ilgili makinenin bulunmadığı işletmeler grafikte boş olarak belirtilmiştir.

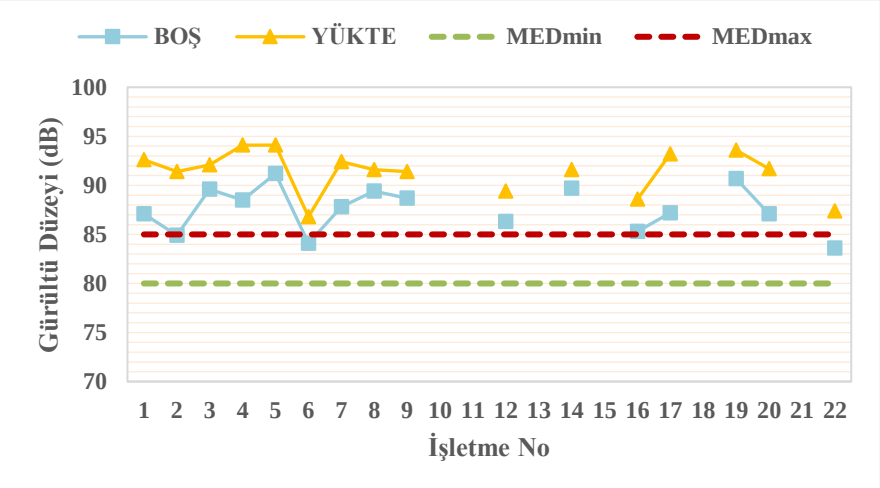
Tablo 3'de ölçümlerin yapıldığı kereste işletmelerinde kullanılan yan alma makinelerine ait boş ve yüklü haldeki ortalama gürültü değeri, standart sapma değeri ile en düşük ve en yüksek gürültü ölçüm değerleri verilmiştir. Bu makine için gürültü ölçümleri 16 işletmede gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. Yan alma makinesi için boş ve yüklü durumdaki gürültü ölçüm sonuçları

Yan alma makinesi	Ortalama dB(A)	Standart sapma	En düşük dB(A)	En yüksek dB(A)
Boş	87.6	2.30	83.6	91.2
Yüklü	91.4	2.23	86.8	94.1

Tablo 3'ün incelenmesi sonucu, ilgili işletmelerde kullanılan yan alma makinelerinin boş halde çalıştığında ortalama olarak 87.6dB(A) seviyesinde bir gürültü ürettiği, yüklü halde çalışırken ise 91.4dB(A) seviyesinde bir gürültü değeri ürettiği görülmektedir. Tablo 3'de makinenin hem boş hem de yüklü durumda çalıştığında elde edilen ortalama gürültü seviyesinin MED_{max} olan 85dB(A) değerinin üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Bu makine için gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen en yüksek ve en düşük gürültü değerleri ise makine boş durumda çalışırken sırasıyla 91.2dB(A) ve 83.6dB(A) iken makine yüklü durumda çalıştığında ise sırasıyla 94.1dB(A) ve 86.8dB(A) olarak tespit edilmiştir.

Şekil 4'de ölçüm yapılan kereste işletmelerindeki yan alma makinelerinin hem boş hem de yüklü halde çalışırken ölçülen gürültü değerleri ile MED_{min} ve MED_{max} işletme bazında karşılaştırılmaktadır.



Şekil 4. Yan alma makinesi için boş ve yükteki gürültü düzeylerinin MED_{min} ve MED_{max} ile karşılaştırılması

Şekil 4 incelendiğinde, makinelerin boş halde çalışırken ölçülen gürültü değerinin yüklü durumda çalışırken ulaşılan gürültü değerinden daha düşük olduğu görülmüştür. Ek olarak, Şekil 4'de görüldüğü gibi çok az sayıdaki işletmede makineler boş halde çalışırken MED_{max} değerinden düşük gürültü düzeyi tespit edilmiştir. Makine yüklü durumda çalışırken bütün işletmelerde MED_{max} değerinden yüksek gürültü değerleri elde edilmiştir. Öte yandan, ilgili makinenin bulunmadığı işletmeler Şekil 4'de boş olarak belirtilmiştir.

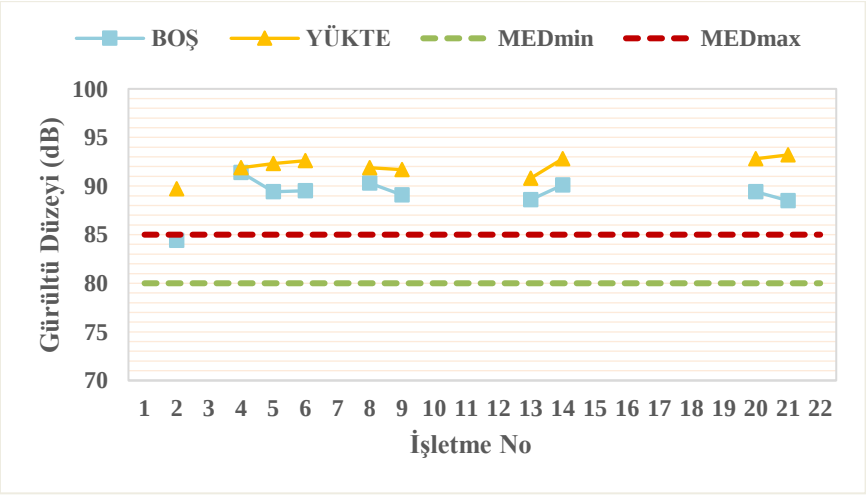
Tablo 4'de ölçümlerin yapıldığı işletmelerde kullanılan çoklu dilme makinelerine ait boş ve yüklü haldeki ortalama gürültü değeri, standart sapma değeri ile en düşük ve en yüksek gürültü ölçüm değerleri verilmiştir. Bu makine için gürültü ölçümleri 10 işletmede gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. Çoklu dilme makinesi için boş ve yüklü durumdaki gürültü ölçüm sonuçları

Çoklu dilme makinesi	Ortalama dB(A)	Standart sapma	En düşük dB(A)	En yüksek dB(A)
Boş	89.1	1.85	84.4	91.4
Yüklü	92.0	1.05	89.7	93.2

Tablo 4 incelendiğinde, kereste işletmelerinde kullanılan çoklu dilme makinelerinin boş halde çalıştığında ortalama olarak 89.1dB(A) seviyesinde bir gürültü ürettiği, yüklü halde çalışırken ise 92.0dB(A) seviyesinde bir gürültü değeri ürettiği görülmektedir. Tablo 4'de makinenin hem boş hem de yüklü durumda çalıştığında elde edilen ortalama gürültü seviyesinin MED_{max} olan 85dB(A) değerinin üzerinde olduğu anlaşılmıştır. Bu makine için elde edilen en yüksek ve en düşük gürültü değerleri ise makine boş durumda çalışırken sırasıyla 91.4dB(A) ve 84.4dB(A) iken makine yüklü durumda çalışırken sırasıyla 93.2dB(A) ve 89.7dB(A) olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5'de ölçüm yapılan kereste işletmelerindeki çoklu dilme makinelerinin boş ve yüklü halde çalışırken ölçülen gürültü değerleri ile MED_{min} ve MED_{max} işletme bazında karşılaştırılmaktadır.



Şekil 5. Çoklu dilme makinesi için boş ve yükteki gürültü düzeylerinin MED_{min} ve MED_{max} ile karşılaştırılması

Şekil 5'in incelenmesi sonucunda, genel olarak makinelerin boş durumda çalışırken ölçülen gürültü değerinin yüklü durumda çalışırken ulaşılan gürültü değerinden daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Bununla beraber, Şekil 5'de görüldüğü üzere, sadece bir kereste işletmesinde makineler boş halde çalışırken MED_{max} değerinden daha düşük gürültü düzeyi elde edilmiştir.

Makineler yüklü durumda çalışırken bütün kereste işletmelerinde MED_{max} değerinden yüksek gürültü değerleri ölçülmüştür. Öte yandan, ilgili makinenin bulunmadığı işletmeler Şekil 5'de boş olarak belirtilmiştir.

Genel bir değerlendirme yapıldığında, ilgili işletmelerde ölçüm yapılan tüm makineler için ortalama gürültü değerlerinin makineler hem boş durumda hem de yükte çalışırken MED_{max} değerinin üzerinde olduğunu söylemek mümkündür. Bu durumun insan sağlığına olumsuz etkileri olabileceğinden gerekli önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Benzer konular üzerine yürütülen önceki çalışmalarda da yüksek gürültünün çalışan sağlığı ve performansı üzerine olumsuz etkilerine değinilmiştir. Davies vd. (2008) Kanada kereste işletmelerinde mesleki gürültüye maruz kalma ve işitme kaybına karşı kişisel koruyucu kullanımı üzerine yürüttüğü çalışmasında çok sayıda gürültü ölçümü gerçekleştirmiş ve sonuç olarak ölçümlerin pek çoğunun 85dB(A) seviyesinin üzerinde elde edildiğini bildirmiştir. Çalışmada, kereste işletmelerindeki işçilerin yüksek düzeyde gürültüye maruz kaldığı bildirilmiş ve işitme kaybına karşı kişisel koruyucu kullanım yaygınlığının yüksek olmasına rağmen, bu koruyucuların kullanımının, gözlemlenen maruziyetlerde gürültüye bağlı işitme kaybına karşı tam koruma sağlama olasılığının düşük olduğu ifade edilmiştir. Ek olarak, işitme kaybına karşı kişisel koruyucu kullanımının yaygınlığı zaman içinde artmış olsa da, bu koruyucuları kullanmayan önemli bir oranın varlığına dikkat çekilmiştir. Serin vd. (2013) küçük ölçekli mobilya işletmelerinde gürültü analizi üzerine çalışmalarında kullanılan makinelerin boş durumda çalıştırılması halinde bazı makinelerin en yüksek maruziyet eylem değerini aştığı belirlenirken makinelerin dolu durumda çalıştırılması halinde ise tüm makinelerin en yüksek eylem değeri olan 85dB(A) değerinden yüksek bir ortalama gürültü ürettiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca, gürültülü ortamda çalışma süresinin artması durumunda çalışanlarda bazı fizyolojik ve psikolojik sağlık sorunlarının ortaya çıkabileceği bildirilmiştir. Dimou (2014) kereste endüstrisinde gürültü ölçümü üzerine yürüttüğü çalışmasında üretim alanı için izin verilen maksimum seviyeyi 85dB(A) olarak ifade etmiş ve çalışma sonucunda bu değerin aşıldığını belirtmiştir. Bununla beraber, bu gibi durumlarda, çalışanların kişisel kulak koruyucuları kullanarak veya düzenli bir mola programı uygulanması yoluyla korunmasının önemi vurgulanmış ve gürültü seviyesini azaltan çeşitli diğer koruyucu önlemlerin uygulanması ile gürültü seviyelerinde önemli ölçüde azalma sağlanabileceği belirtilmiştir.

4. Sonuçlar

Yapılan bu çalışmada Trabzon'da kereste üretimi gerçekleştirilen bazı işletmelerde yaygın olarak kullanılan bazı makinelerin gürültü düzeyleri ölçülmüştür. Dikkate alınan makinelerden birisi olan, arabalı şerit testere için 22 işletmede gerçekleştirilen ölçümlerde ortalama gürültü makine boş halde çalıştırıldığında 86.1dB(A) iken makinenin yüklü durumda çalıştırılması halinde gürültü değeri 91.3 dB(A) olarak ölçülmüştür. Yarma şerit testere makinesi için 18 işletmede yürütülen ölçümlerde ortalama gürültü makine boş halde çalıştığında 89.4dB(A) iken makine yüklü halde çalıştırıldığında 94.2dB(A) olarak belirlenmiştir. Diğer bir makine olan yan alma makinesi için 16 işletmede ölçülen ortalama gürültü değeri makine boş çalıştırıldığında 87.6dB(A) iken makine yükte çalıştırıldığında 91.4dB(A) olarak ölçülmüştür. Son olarak, çoklu dilme makinesi için dikkate alınan 10 işletmede yapılan ölçümlerde makine boş halde çalıştığında ortalama gürültü 89.1dB(A) olarak hesaplanırken makinenin yüklü halde çalıştırılması durumunda ortalama gürültü 92dB(A) olarak tespit edilmiştir. Görüldüğü gibi, araştırma kapsamında dikkate alınan kereste işletmelerinde makineler hem boş hem de yükte çalışırken gerçekleştirilen ölçümlerde elde edilen gürültü değerleri en yüksek Maruziyet Eylem Değeri olan 85dB(A) düzeyini aşmaktadır. Ulaşılan sonuçlar, çalışanları gürültü kaynaklı sağlık risklerinden korumak için gürültüye karşı korunma tedbirlerinin alınmasının ve bu tedbirlerin titizlikle uygulanmasının önemini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Proje No: FYL-2016-5511

Kaynaklar

Davies, H.W., Teschke, K., Kennedy, S.M, Hodgson, M.R. and Demers P.A. (2008). Occupational noise exposure and hearing protector use in Canadian lumber mills. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 6(1), 32-41, DOI: 10.1080/15459620802548940.

Dimou, V. (2014). Noise measurements in timber industries. *Drvna Industrija,* 65(3), 243-249, doi:10.5552/drind.2014.1334.

Dobie, R. A. (2008). The burdens of age-related and occupational noise-induced hearing loss in the United States. *Ear & Hearing*, 29(4), 565-577, doi: 10.1097/AUD.0b013e31817349ec.

Doğan, H. ve Aslan Çataltepe, Ö. (2018). Gürültünün insan sağlığı üzerine etkileri. *Journal of Health and Sport Sciences* (JHSS), Vol.1, No.1-2-3, 29-38.

Esen, M. (2010). *Üretim sahasında gürültü ve gürültü kontrol uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Serin, H., Şahin, Y. ve Durgun, M. (2013). Küçük ölçekli mobilya işletmelerinde gürültü analizi. *Ormancılık Dergisi*, 9(2), 1-8.

Sönmez, A., Arslan, A. R., Asal, Ö. ve Akdere, B. (2009). Ankara'da mobilya sektöründe faaliyet gösteren küçük ve orta büyüklükteki işletmelerde fiziksel çevre koşullarından ortam faktörlerinin değerlendirilmesi. *Politeknik Dergisi,* 12(2), 127-135.

Subramaniam, M., Hassan, M. Z., Sadali, M. F., Ibrahim, I., Daud, M. Y, Aziz, S. A, Samsudin, N. and Sarip, S. (2019). Evaluation and analysis of noise pollution in the manufacturing industry. *International Conference on Mechanical and Manufacturing Engineering (ICME2018), IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series* 1150 (2019) 012019, doi:10.1088/1742-6596/1150/1/012019.

URL-1, Çalışanların gürültü ile ilgili risklerden korunmalarına dair yönetmelik. Erişim adresi https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=18647&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5, (2021, 02 Haziran).

Orman Köylülerine Verilen Ferdi Desteklerin Ekonomik ve Sosyal Açıdan Değerlendirilmesi

Murat Han ERTUĞRUL*[1,a], Engin GÜVENDİ [1,b], Nuray KAHYAOĞLU [1,c]
[1]*Gümüşhane Üniversitesi, Kürtün Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, 29830, Gümüşhane*

Öz

Günümüzde sayıları azalmasına karşın orman köyleri halen bulundukları yörelerdeki ormanlık alanları koruyan, önemseyen ve aynı zamanda zati ihtiyaçlarını buralardan sağlayan birer yaşam alanlarıdırlar. Nüfusları azalmasına rağmen yaz ve bahar aylarının sıcak dönemlerinde yaşamlarını orman köylerinde geçiren birçok aile orman işletmelerinin sağlamış olduğu desteklerden farklı biçimlerde faydalanmaktadırlar. Bu destekler sosyal amaçlı ve ekonomik amaçlı destekler olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Bu çalışmada orman köylülerine verilen ferdi desteklerin yıl bazında dağılımı ve parasal değerleri irdelenmeye çalışılmıştır. Çalışmada materyal olarak 2019 yılında yayınlanan Ormancılık İstatistikleri kullanılmıştır. Yapılan araştırma neticesinde aile bazında en fazla destek verilen yıl 2010 yılı olmuş ve toplamda 27 232 aileye destek verilmiştir. Maddi değer olarak değerlendirildiğinde en fazla destek 244 484 359 TL ile 2016 yılında sağlanmıştır. Ayrıca sosyal amaçlı desteklerden en fazla ısıtma ve pişirme için 2010 yılında 90 158 919 TL, ekonomik amaçlı desteklerden ise en fazla hayvancılık için 1993 yılında toplam 201 593 043 TL maddi destek orman köylülerine sağlanmıştır. Çalışma sonucunda son yıllarda orman köylerinin nüfuslarının azalmasına karşın aldıkları desteklerin arttığı ve destek türlerinin çeşitlendiği ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Orman Köyü, Orman Köylerine verilen Destekler, Ekonomik Destekler, Sosyal Destekler

1. Giriş

Odun hammaddesi ikamesi olmasına rağmen estetik görünüşü, yenilenebilir bir enerji kaynağı olması ve uzun yıllar kullanılması nedeniyle halen sanayide kullanımı devam eden en önemli hammaddelerden birisidir. (Ertuğrul vd., 2019). Bu nedenle ormanların bize sağladığı ürün ve hizmetlerin sürekliliğinin sağlanması için, mevcut ormanların korunması, geliştirilmesi ve yeni ormanlık alanların oluşturulması gerekmektedir. 1965 yılı verilerine göre ülke nüfusunun %22'sini orman köylüleri oluşturmaktadır (DPT, 1968; Günşen, 2020). Fakat günümüzde bu oran göç olayları nedeniyle %8'e kadar gerilemiştir (OGM, 2020; TÜİK, 2020). Orman köylerinin nüfusu her ne kadar azalmış olsa da özellikle yaz aylarında yaşamlarını bu köylerde geçiren birçok aile vardır. Bu nedenle orman köylerinin ve köylülerinin varlığı önemini halen devam ettirmektedir. Ayrıca birçok ormancılık faaliyetinde istihdam edilen kişiler orman köylüleridir. Orman köylüleri bir yandan ormanlardan kişisel taleplerini karşılarken bir yandan da koruma görevi üstlenen insan topluluklarıdır. Gelişen teknoloji, ulaşım kolaylığı, insanların kırsal yaşama olan özlemi yine orman köylerinin önemini artırmış ve doğal beslenmenin önemi ile birlikte şehirlerde yaşayan insanların kırsal alanlarda arıcılık ve hayvancılık gibi faaliyetlere yönelmesini sağlamıştır. Bu faaliyetlerin artırılması amacıyla Orman İşletmeleri (Oİ), orman köylülerine sosyal ve ekonomik amaçlı birçok destek vermektedir (Günşen, 2020). Verilen desteklere ilişkin bilgiler (Tablo 1) verilmiştir.

Tablo 1. Orman Köylülerine Verilen Ferdi Destekler (OGM; 2019)

Sosyal Amaçlı Destekler	Dam Örtüsü Köy Evleri Elektrik İç Tesisatı Isıtma-Pişirme
Ekonomik Amaçlı Destekler	Fenni Arıcılık Hayvancılık Üretim Mekanizasyonu El ve Ev Sanatları Tesis Edindirme ve Çevirme

Orman köylülerine verilen destekler, sosyal amaçlı ve ekonomik amaçlı destekler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sosyal amaçlı verilen destekler orman köylülerinin günlük yaşamlarını, yaşadıkları yerleri ilgilendiren destekler olurken, ekonomik amaçlı destekler ise refah düzeyini iyileştirici, istihdam sağlayıcı destekleri kapsamaktadır.

2. Materyal ve Metot

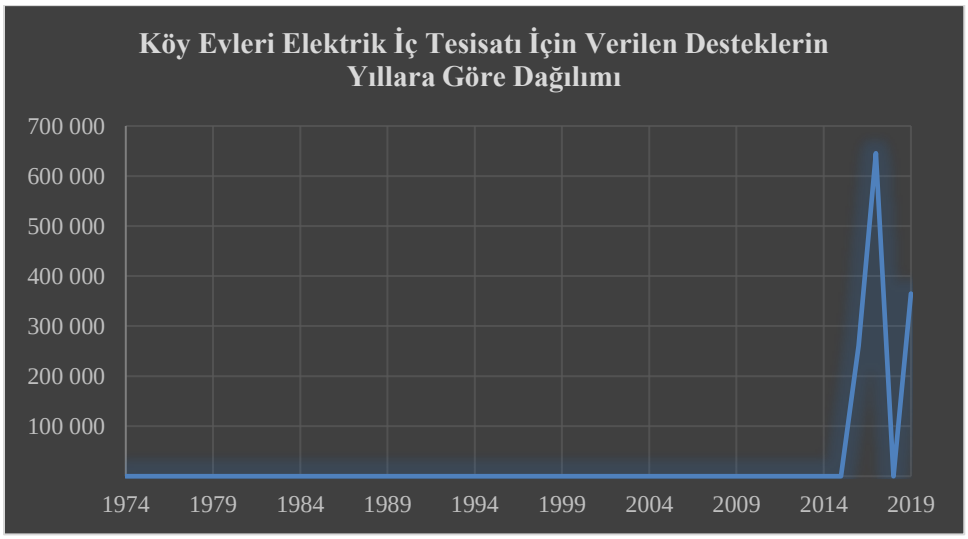
Bu çalışmada Türkiye'de orman köylülerine verilen ferdi desteklerin ekonomik olarak irdelenmesi amaçlanmış ve materyal olarak 2019 yılına ait ormancılık istatistikleri kullanılmıştır. 1974-2019 yılları arasında orman köylülerine verilen sosyal amaçlı ve ekonomik amaçlı desteklere ilişkin dam örtüsü, köy evleri elektrik iç tesisatı, ısıtma-pişirme, fenni arıcılık, hayvancılık, üretim mekanizasyonu, el ve ev sanatları ve tesis edindirme-Çevirme gibi faaliyetler ekonomik olarak irdelenmiştir.

3. Bulgular



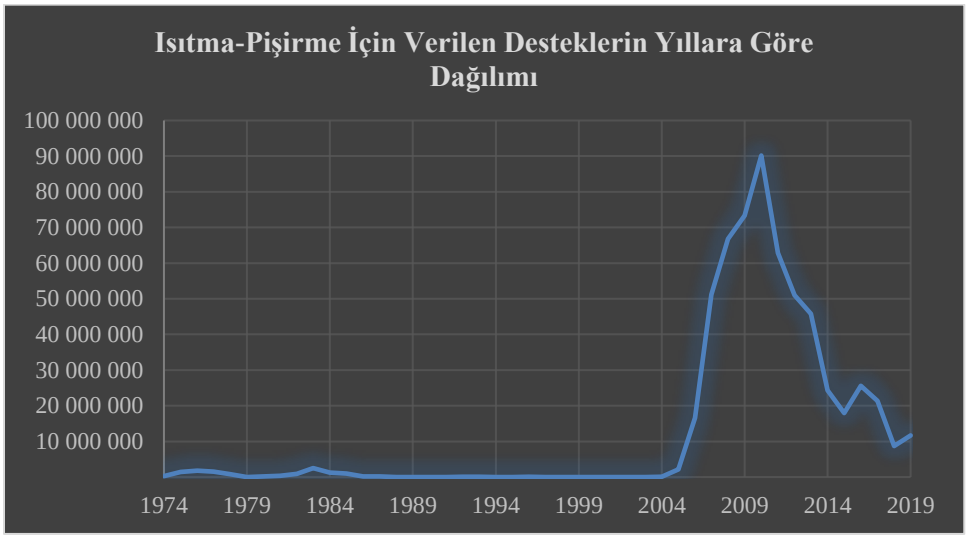
Şekil 1. Dam Örtüsü İçin Verilen Desteklerin Yıllara Göre Dağılımı

Yapılan araştırma neticesinde sosyal amaçlı desteklerden dam örtüsüne ilişkin veriler (Şekil 1) incelendiğinde orman köylülerine en fazla desteğin 1975 yılında 68.4 milyon TL verildiği belirlenmiştir. Ayrıca bu destek türünün 1996-2004 yılları arasında hiç verilmediği ve en az destek verilen yılın ise 68 bin TL ile 1995 yılı olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun yanı sıra dam örtüsü için 1974-2019 yılları arasında destek verilen aile sayısı 129331 ve destek miktarı da toplamda 408 milyon TL'dir.



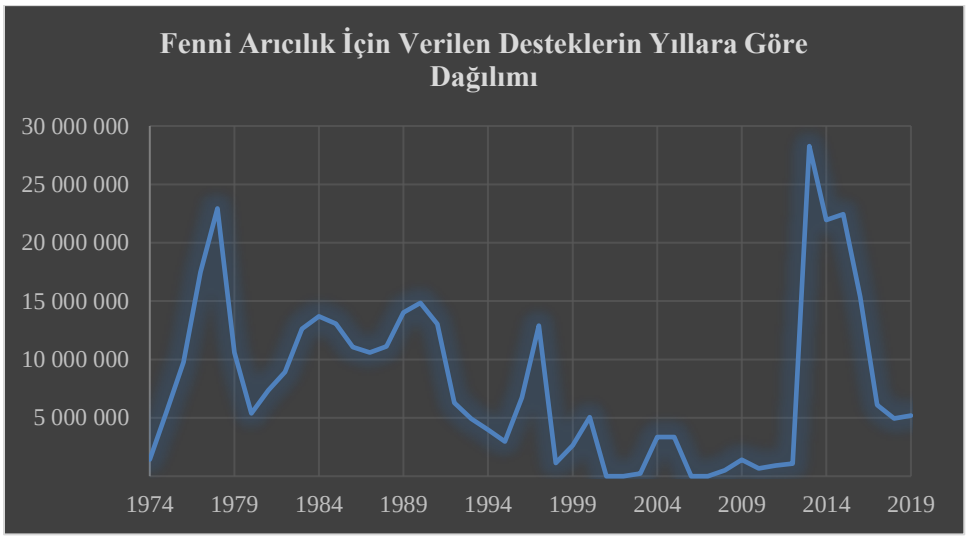
Şekil 2. Köy Evleri Elektrik İç Tesisatı İçin Verilen Desteklerin Yıllara Göre Dağılımı

Köy evleri elektrik iç tesisatı için verilen destekler (Şekil 2) incelendiğinde 1974-2019 yılları arasında sadece 2016, 2017 ve 2019 yıllarında destek verildiği belirlenmiştir. Destek miktarları ekonomik olarak incelendiğinde ise en fazla desteğin 645 bin TL ile 2017 yılında verildiği tespit edilmiştir. Ayrıca 1974-2019 yılları arasında destek verilen aile sayısı 220 ve destek miktarı da 1.3 milyon TL'dir.



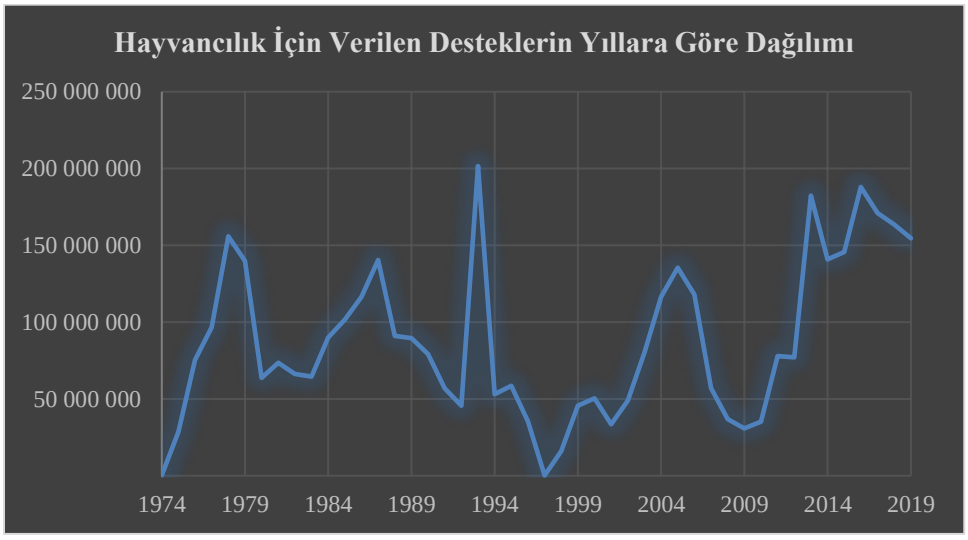
Şekil 3. Isıtma-Pişirme İçin Verilen Desteklerin Yıllara Göre Dağılımı

Isıtma-Pişirme için verilen destekler (Şekil 3) incelendiğinde en fazla desteğin 2010 yılında 90.2 milyon TL olarak verildiği tespit edilmiştir. Ayrıca 1974'ten 2000'li yıllara kadar bu alanda çok az destek verildiği ortaya konulmuştur. Destek verilen yıllar dikkate alındığında en az desteğin ise 1979 yılında 7877 TL miktarında verildiği belirlenmiştir. Ayrıca 1974-2019 yılları arasında ısıtma-pişirme desteği için 170442 aileye destek verilmiş ve destek miktarı ise toplam da 582 milyonu bulmuştur.



Şekil 4. Fenni Arıcılık İçin Verilen Desteklerin Yıllara Göre Dağılımı

Fenni arıcılık faaliyetleri için verilen ferdi destekler (Şekil 4) incelendiğinde en fazla desteğin 2013 yılında 28.3 milyon TL, en az desteğin ise 2003 yılında 228 bin TL olarak verildiği belirlenmiştir. Oİ'nin vermiş olduğu diğer desteklere nazaran fenni arıcılık daha fazla sürekliliği olan bir destek türüdür. Ayrıca fenni arıcılık destekleri kapsamında 1974-2019 yılları arasında toplamda 30376 aileye 36.6 milyon TL'lik destek sağlanmıştır.



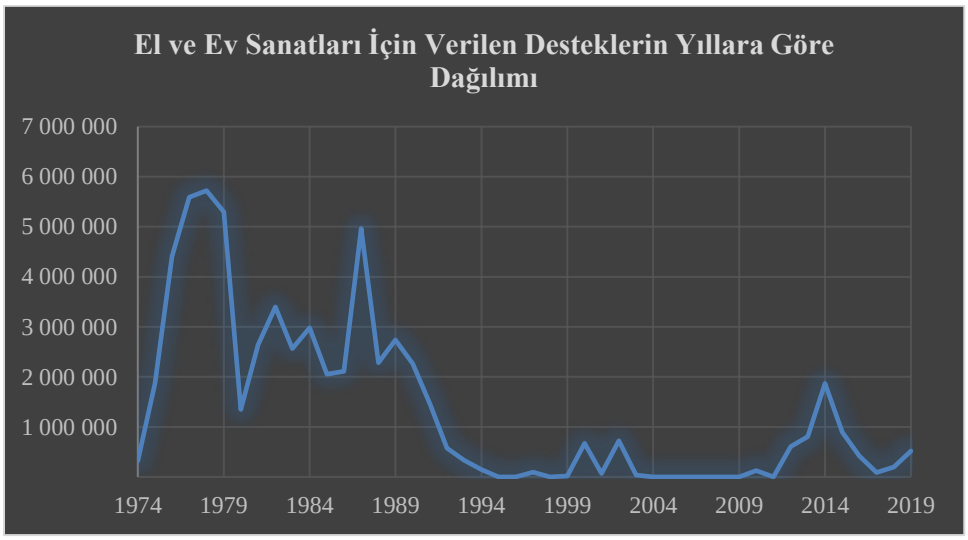
Şekil 5. Hayvancılık İçin Verilen Desteklerin Yıllara Göre Dağılımı

Hayvancılık için verilen destekler (Şekil 5) incelendiğinde en fazla desteğin 1993 yılında 201.6 milyon TL, en az desteğin ise 1997 yılında 181 bin TL olarak verildiği belirlenmiştir. Ayrıca hayvancılık destekleri 1974-2019 yılları arasında her yıl ihtiyaç sahibi orman köylülerine verilmiştir. Destek verilen aile sayısı 148626 olup destek miktarı da 4 milyar TL'ye ulaşmıştır. Bütün destek türleri dikkate alındığında ekonomik anlamda en fazla destek verilen tür hayvancılık olmuştur.



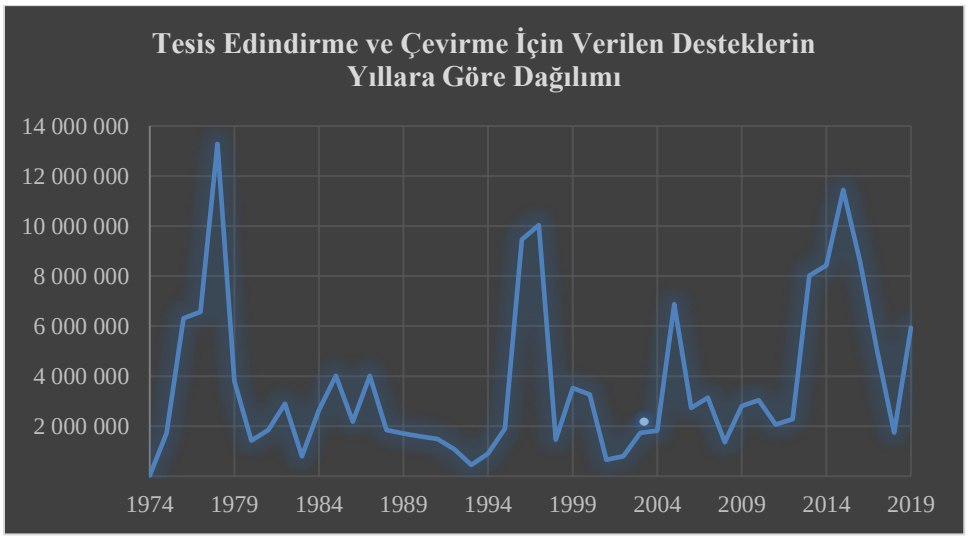
Şekil 6. Üretim Mekanizasyonu İçin Verilen Desteklerin Yıllara Göre Dağılımı

Üretim mekanizasyonu destekleri (Şekil 6) incelendiğinde 1974-2019 yılları arasında sadece 2019 yılında destek verildiği belirlenmiştir. Verilen desteğin değeri 19.6 milyon TL olarak tespit edilmiş uzun yıllardır verilen destek türlerine oranla önemli bir ekonomik değer olarak yerini almıştır. Sağlanan destek toplamda 765 aileye ulaşmıştır.



Şekil 7. El ve Ev Sanatları İçin Verilen Desteklerin Yıllara Göre Dağılımı

El ve ev sanatları için verilen destekler (Şekil 7) incelendiğinde en fazla desteğin 1978 yılında 5.7 milyon TL, en az desteğin ise 1999 yılında 17 bin TL olarak verildiği tespit edilmiştir. Ayrıca bu destek türünün günümüzde geçmişe nazaran daha az önem taşıdığı belirlenmiştir. 1974-2019 yılları arasında sağlanan toplam destek incelendiğinde ise toplamda 10998 aileye 62 milyon TL'lik destek sağlanmıştır.



Şekil 8. Tesis Edindirme ve Çevirme İçin Verilen Desteklerin Yıllara Göre Dağılımı

Tesis edindirme ve çevirme için verilen destekler (Şekil 8) incelendiğinde en fazla desteğin 1978 yılında 13.2 milyon TL, en az desteğin ise 1974 yılında 32 bin TL olarak verildiği tespit edilmiştir. Tesis edindirme ve çevirme desteği, hayvancılık için verilen desteklerde olduğu gibi diğer destek türlerine nazaran 1974-2019 yılları arasında süreklilik sağlamıştır. Ayrıca bu kapsamda 9664 aileye toplamda 169 milyon TL'lik bir destek sağlanmıştır.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Ülkemizde 1974-2019 yılları arasında orman köylülerine Oİ tarafından sağlanan toplam desteğin 5.6 milyar TL olduğu belirlenmiştir. Bu durum sayıları azalmasına karşın halen orman köylerinin ve köylülerinin, varlıklarını sürdürmeleri ve devlet desteğine ihtiyaçlarının devam ettiğini göstermektedir. Yapılan ferdi desteklerin miktarlarının artırılması, orman köylülerinin bilinçlendirilmesi ve bu sayede kentsel alanlara göç miktarının azaltılmasıyla insanlara memleketlerinde istihdam olanağı sağlanması amaçlanabilir. Ayrıca orman köylerindeki nüfusun devamlılığının sağlanarak ormanların korunması, geliştirilmesi gibi hususlarda da dolaylı olarak fayda elde edilebilir.

1974-2019 yılları arasında orman köylerinde yaşamını sürdüren toplam 506422 aileye destek verilmiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde en fazla destek verilen yılın 2010 yılı olduğu ve destek verilen aile sayısının ise 27232 olduğu tespit edilmiştir. 1974-2019 yılları arasında ferdi desteklerin belirli yıllarda bir artış trendinde olmasına rağmen son 10 yılda önemli miktarda desteklerin verildiği söylenebilir. Bu durum Orman Genel Müdürlüğü'nün yapmış olduğu mikro kredi projesi ile desteklenerek önem kazanması ile açıklanabilir. Mikro kredi projeleri ile orman köylerinde yaşayan özellikle kadın nüfusun el emeği ile ürettiği ürünlerin pazarlanması, hammaddelerinin sağlanması ve bu hammaddeleri işleyecek ekipmanların temin edilmesi konusunda yardımları kapsamaktadır.

Yapılan araştırma sonucunda Oİ'lerinin dam örtüsü, köy evleri elektrik iç tesisatı, ısıtma-pişirme, fenni arıcılık, hayvancılık, el ve ev sanatları, tesis edindirme-çevirme ve üretim mekanizasyonu gibi hem sosyal hem de ekonomik alanlarda destekler verdiği saptanmıştır. Bu destek türlerinden 1974-2019 yılları arasındaki devamlılığı ele alındığında hayvancılık ve tesis edindirme-çevirme alanındaki ferdi desteklerin her yıl düzenli olarak verildiği tespit edilmiştir. Bu durum hayvancılık faaliyetlerinin ülkemizin genelinde geçmişten günümüze

yaygınlaştırılmasının amaçlanması ile açıklanabilir. Ayrıca doğal yaşama özlemin sürekli önemini artırarak devam ettirmesi nedeniyle orman köylerinde istihdamın sağlanması açısından tesis edindirme gibi faaliyetlerin bu nedenle önemli olduğu söylenebilir.

Kaynaklar

DPT (1968). İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1968-1972), T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

Ertuğrul, M.H., Güvendi, E., Kahyaoğlu, N., Karahan, S (2019). Kahramanmaraş orman bölge müdürlüğünün 2012-2018 yılları arasında yaptığı odun hammaddesi üretiminin değerlendirilmesi. III. International Mediterranean Forest and Environment Symposium (IMFES) (pp. 531-535). Kahramanmaraş.

Günşen, H, Atmış, E. (2020). Kalkınma Planlarında Yer Alan Orman Köylüsüne İlişkin Politikaların Zamansal Değişimi. Bartın Orman Fakültesi Dergisi, 22 (1), 256-272. DOI: 10.24011/barofd.701096

OGM (2019). Orman Genel Müdürlüğü Web Sitesi. https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/resmi istatistikler

OGM (2020). Orman Genel Müdürlüğü Web Sitesi. https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/resmi-istatistikler

TÜİK, (2020). Türkiye İstatistik Kurumu Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi. https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr

Türkiye'deki Ormanlık Alan, Servet ve Artımın Zamansal Değişiminin İrdelenmesi

Murat Han ERTUĞRUL*[1, a], Nuray KAHYAOĞLU [1, b], Engin GÜVENDİ [1, c]
[1]*Gümüşhane Üniversitesi, Kürtün Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, 29830, Gümüşhane*

Öz

Günümüzde yerini alabilecek birçok ikame mal olmasına karşın odun hammaddesi, giderek farklılaşan kullanım alanları ve tasarımıyla halen önemini kaybetmemiştir. Bu nedenle Orman İşletmeleri bir yandan piyasanın kaliteli odun hammaddesine olan ihtiyacını karşılarken diğer yandan ise bu durumun sürdürülebilirliğini ve sürekliliğini sağlamalıdır. Ülkemiz geçmiş yıllardan günümüze orman alanını önemli ölçüde artırmış ve son yıllarda Orman Genel Müdürlüğü'ne bağlı kurumların bünyesine kattığı kalifiye personeller ile her yıl ithal edilen odun hammaddesi miktarını da düşürmeyi hedeflemiştir. Ormanlarımızdan elde edilecek olan ürün miktarı verimli orman alanı, servet ve artım ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada Türkiye orman alanları, bu alanlarda bulunan ağaç serveti ve yıllık cari artımları arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Çalışma sırasında ormancılık istatistikleri materyal olarak kullanılmıştır ve 1973'ten günümüze ülkemiz orman alanlarının %12,6 arttığı, servetimizin %79,5 oranında arttığı ve buna paralel olarak artım miktarımızın da %68,2 arttığı belirlenmiştir. Bu artışlar yıl bazında değerlendirildiğinde ormanlık alan en fazla 2012-2015 yılları arasında yılda ortalama %1, ağaç serveti 2010 yılında %3,95 ve buna paralel olarak artım yine 2010 yılında %4,18'lik bir artış göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Orman Alanı, Ağaç Serveti, Yıllık Cari Artım,

1. Giriş

Ormanlar yayılış gösterdikleri alanlarda hava kirliliğini ve gürültüyü azaltmakta (Papinchak et al., 2009; Tani and Hewitt, 2009), insanların psikolojik durumlarını iyileştirmekte, (Lohr, 1996; Chang ve Chen, 2005), erozyonu önlemekte (Turna and Guney, 2009), rüzgarın hızını azaltıcı etkilerde bulunmakta ve önemli bir ekonomik kaynak sağlamaktadır (Tokcan ve Kiniş, 2006; Ertuğrul vd., 2019).

Gelişen teknoloji ve artan dünya nüfusu ormanlardan faydalanma oranını ve dünya üzerindeki ekolojik dengeyi sağlaması bakımından orman ekosisteminin önemini artırmıştır (Seçkin, 1995; Başkent, 1999). Orman alanlarımızdaki artış ve azalış orman kaynaklarının etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanımı açısından orman amenajmanının önemini daha da artırmıştır. Nitekim ETÇAP sisteminin benimsediği "Sürdürülebilir Orman İşletmeciliği (SOİ)" kavramı, orman kaynaklarının işletilmesinde, toplumların günümüzde ve gelecekte ormanlardan beklediği ekonomik, ekolojik ve sosyo-kültürel fonksiyonları yerel, bölgesel ve küresel büyüklüklerde, diğer ekosistemlerle olan ilişkiler göze alınarak ve orman ekosistemlerinin sahip olduğu alansal büyüklüğü, doğal verim gücünü, biyolojik çeşitliliği, kaybetmeden kullanımını devam ettirecek şekil ve yoğunlukta bir planlama öngörmektedir (Asan, 2017). Ayrıca orman kaynaklarında meydana gelen değişimin belli zamanlarda izlenmesi ve gerekli önlemlerin alınması, SOİ'leri için hayati bir konumdadır (Keleş et al., 2007; Sivrikaya et al., 2007).

Orman ekosistemlerinin sürdürülebilir şekilde planlamasında, toplumların günümüzde ve gelecekte beklentilerinin yanı sıra geçmişten günümüze orman kaynaklarındaki zamansal değişimlerinin belirlenmesi önemli bir faktördür. Bu zamansal değişimin belirlenebilmesi için yapılan envanterler yardımıyla ormanların sağladığı ürün ve hizmetlerin sayısal veriler haline getirilmesi gerekmektedir.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ülkemizde bulunan ormanlık alanların, servetin ve onun faizi olan artımın 1973-2019 yılları arasındaki değişiminin irdelenmesi amaçlanmıştır. Çalışma sırasında materyal olarak 2019 yılında yayınlanan ormancılık istatistiklerinden faydalanılmıştır. Ormanlık alan, servet ve artımın değişimi belirli periyotlarda incelenmiş ve değişim yüzdesel olarak değerlendirilmiştir.

3. Bulgular

Tablo 1. 1973-2019 yılları arasındaki ormanlık alanların zamansal değişimi (OGM, 2019)

Yıl	Orman Formu	Normal Kapalı (Ha)	Boşluklu Kapalı (Ha)	Toplam (Ha)	Genel Alan (Ha)	Artış Yüzdesi (%)
1973	Koru Ormanı	6.176.899	4.757.708	10.934.607	20.199.296	
	Baltalık Orman	2.679.558	6.585.131	9.264.689		
1999	Koru Ormanı	8.237.753	6.180.587	14.418.340	20.763.248	2,7
	Baltalık Orman	1.789.815	4.555.093	6.344.908		
2005	Koru Ormanı	8.940.215	6.499.380	15.439.595	21.188.747	2,0
	Baltalık Orman	1.681.006	4.068.146	5.749.152		
2009	Koru Ormanı	9.494.322	6.810.888	16.305.210	21.389.783	0,9
	Baltalık Orman	1.478.187	3.606.386	5.084.573		
2010	Koru Ormanı	9.782.513	6.879.866	16.662.379	21.537.091	0,6
	Baltalık Orman	1.420.324	3.454.388	4.874.712		
2012	Koru Ormanı	10.281.728	6.978.864	17.260.592	21.678.134	0,6
	Baltalık Orman	1.276.940	3.140.602	4.417.542		

2015	Koru Ormanı	11.919.061	7.700.657	19.619.718	22.342.935	3,07
	Baltalık Orman	785.087	1.938.130	2.723.217		
2018	Koru Ormanı	12.633.298	8.788.471	21.421.769	22.621.935	1,25
	Baltalık Orman	349.850	850.316	1.200.166		
2019	Koru Ormanı	12.733.660	8.806.471	21.540.131	22.740.297	0,52
	Baltalık Orman	349.850	850.316	1.200.166		

Yapılan araştırma neticesinde Türkiye'deki ormanlık alanların değişimine ilişkin veriler (Tablo 1) verilmiştir. 1973 yılında toplamda 20.2 milyon ha ormanlık alan olduğu ve bu alanın 2019 yılında 22.7 milyon ha ulaştığı tespit edilmiştir. 2012-2015 20.2 milyon ha ormanlık alan olduğu ve bu alanın 2019 yılında 22.7 milyon ha ulaştığı tespit edilmiştir. 2012-2015 yılları arasında yıllık ortalama orman artışı %1.2 olmuş ve bu oran 1973-2019 yılları arasında en fazla artışın olduğu dönemi kapsamaktadır. Normal kapalı ve boşluklu kapalı orman alanları değerlendirildiğinde geçmişten günümüze normal kapalı ormanların arttığı boşluklu kapalı alanların ise giderek azaldığı saptanmıştır. Ayrıca orman formlarına göre alanlar değerlendirildiğinde koru ormanlarının alanlarının arttığı ve baltalık ormanların ise koru ormanlarına nazaran toplam alanlarının geçmişten günümüze azaldığı belirlenmiştir.

Tablo 2. 1973-2019 yılları arasındaki ağaç servetinin zamansal değişimi (OGM, 2019)

Yıl	Orman Formu	Normal Kapalı (m³)	Boşluklu Kapalı (m³)	Toplam (m³)	Genel Alan (m³)	Artış Yüzdesi (%)
1973	Koru Ormanı	758.732.197	54.349.847	813.082.044	935.512.150	
	Baltalık Orman	88.300.818	34.129.288	122.430.106		
1999	Koru Ormanı	1.032.740.659	63.665.915	1.096.406.574	1.200.791.637	28,36
	Baltalık Orman	80.871.570	23.513.493	104.385.063		
2005	Koru Ormanı	1.128.570.285	65.436.741	1.194.007.026	1.288.124.772	7,27
	Baltalık Orman	70.463.902	23.653.844	94.117.746		
2009	Koru Ormanı	1.228.748.234	63.163.647	1.291.911.881	1.374.240.926	6,69
	Baltalık Orman	61.701.881	20.627.164	82.329.045		
2010	Koru Ormanı	1.288.358.850	61.636.504	1.349.995.354	1.428.504.717	3,95

	Baltalık Orman	59.094.722	19.414.641	78.509.363			
2012	Koru Ormanı	1.365.186.239	59.319.695	1.424.505.934	1.471.137.934	8	2,9
	Baltalık Orman	34.864.000	11.768.000	46.632.000			
2015	Koru Ormanı	1.506.131.410	59.996.731	1.566.128.141	1.611.774.193	6	9,5
	Baltalık Orman	33.692.118	11.953.934	45.646.052			
2018	Koru Ormanı	1.574.233.433	65.149.099	1.639.382.532	1.658.120.000	8	2,8
	Baltalık Orman	14.013.759	4.723.709	18.737.468			
2019	Koru Ormanı	1.595.828.101	64.790.641	1.660.618.742	1.679.356.210	8	1,2
	Baltalık Orman	14.013.759	4.723.709	18.737.468			

Yapılan araştırma neticesinde Türkiye'deki ağaç servetinin zamansal değişimine ilişkin veriler (Tablo 2) verilmiştir. 1973 yılındaki ağaç servetimizin 935 milyon m³ olduğu ve bu miktarın 2019 yılında 1.68 milyar m³'e ulaştığı belirlenmiştir. Artış oranları incelendiğinde en fazla artışın yılda %3.95 oranla 2009'dan 2010 yılına geçişte gerçekleştiği tespit edilmiş en az artışın ise yıllık ortalama %1.18'lik oran ile 1973-1999 yılları arasında gerçekleştiği ortaya konulmuştur. Ormanlık alanlar ile paralel olarak zamanla koru ormanlarındaki ağaç serveti artışı devam etmiş ve baltalık ormanlarda ise ağaç serveti azalmıştır.

Tablo 3. 1973-2019 yılları arasındaki servetin zamansal değişimi (OGM, 2019)

Yıl	Orman Formu	Normal Kapalı (m³)	Boşluklu Kapalı (m³)	Toplam (m³)	Genel Alan (m³)	Artış Yüzdesi (%)
1973	Koru Ormanı	20.791.672	1.343.744	22.135.416	28.063.205	

		Baltalık Orman	4.813.197	1.114.592	5.927.789			
9	1999	Koru Ormanı	26.661.655	1.577.898	28.239.553	34.269.650	2	22,1
		Baltalık Orman	4.644.384	1.385.713	6.030.097			
5	2005	Koru Ormanı	29.908.701	1.518.086	31.426.787	36.282.291		5,87
		Baltalık Orman	3.926.196	929.308	4.855.504			
9	2009	Koru Ormanı	32.904.373	1.481.335	34.385.708	38.454.916		5,99
		Baltalık Orman	3.252.616	816.592	4.069.208			
0	2010	Koru Ormanı	34.711.598	1.468.070	36.179.668	40.061.594		4,18
		Baltalık Orman	3.089.048	792.878	3.881.926			
2	2012	Koru Ormanı	37.300.713	1.411.640	38.712.353	41.025.353		2,41
		Baltalık Orman	1.814.000	499.000	2.313.000			
5	2015	Koru Ormanı	42.322.876	1.484.455	43.807.331	45.904.083	9	11,8
		Baltalık Orman	1.511.561	585.191	2.096.752			
8	2018	Koru Ormanı	44.247.096	1.713.433	45.960.529	47.000.000		2,39
		Baltalık Orman	762.981	276.490	1.039.471			
9	2019	Koru Ormanı	44.447.096	1.713.433	46.160.529	47.200.000		0,43
		Baltalık Orman	762.981	276.490	1.039.471			

Yapılan araştırma neticesinde Türkiye'deki ormanların artımının zamansal değişimine ilişkin veriler (Tablo 3) verilmiştir. 1973 yılındaki artımın 28 milyon m³ olduğu ve bu miktarın 2019 yılında 47 milyon m³'e ulaştığı belirlenmiştir. Artış oranları incelendiğinde en fazla artışın yılda %4.18 oranla 2009'dan 2010 yılına geçişte gerçekleştiği tespit edilmiş en az artışın ise yıllık ortalama %0.43'lük oran ile 2018-2019 yılları arasında gerçekleştiği ortaya konulmuştur. Tıpkı ağaç serveti değerlerinin artışında olduğu gibi Ormanlık alanlar ile paralel olarak zamanla koru ormanlarındaki artımın artışı devam etmiş ve baltalık ormanlarda ise artım miktarının azaldığı gözlenmiştir.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Yapılan araştırma neticesinde Türkiye'deki ormanlık alanlar 1973'ten 2019'a kadar %12.6'lık bir artış göstermiştir. Bu artışın sebebinin ormanların daha planlı bir şekilde işletilmesi, orman alanlarına yakın yerleşim yerlerinden verilen göç, ülke halkının geçmişe nazaran daha bilinçli olması ve yapılan ağaçlandırma-rehabilitasyon çalışmalarında meydana gelen başarı gibi çeşitli dolaylı ve doğrudan faaliyetin etkili olduğu söylenebilir.

1973'ten 2019 yılına kadar ağaç servetinde meydana gelen artış %79.5'i bulmuştur. Ormanlık alanların artışı ile birlikte aslında verimli ormanlarda meydana gelen önemli artış bu durumu etkilemiştir. Nitekim verimli ormanlarda boşluklu kapalı ormanlara nazaran ağaç servetinin daha fazla olduğu söylenebilir. Ayrıca çoğu orman işletmesinde optimal kuruluşa ulaşılabilinmesi için ağaç servetinin faizi olan artımdan daha az miktarda kesim yapılması geçmişten günümüze ağaç servetinin artmasını sağlamıştır. Son olarak ormanlık ağaçlandırma ve rehabilitasyon çalışmalarında elde edilen başarı da ağaç servetinin artışını önemli derecede etkilemiştir.

Son olarak ormanlık alanlarda meydana gelen artım 1973'ten 2019 yılına kadar %68.2'lik bir orana ulaşmıştır. Yapılan silvikültürel müdahaleler ile birlikte artan ağaç servetinin neticesinde artım oranının yükseldiği söylenebilir. Ayrıca planlayıcıların artan tecrübeleri, gelişen teknoloji ile birlikte ormancılık faaliyetlerinin teknik yönünde meydana gelen olumlu değişimler ile birlikte yaşlı olan ormanlarımızın artık yerlerini yavaş yavaş genç ormanlara bırakması ve bu sayede genç ormanlarda meydana gelen artımın daha fazla olması bu durumu açıklayabilir.

Kaynaklar

Asan, Ü. (2017). *Orman amenajmanı*(1). İstanbul: Kültür Sanat Basımevi.

Başkent, E.Z. (1995). Doğaya uygun orman amenajmanı ve konumsal planlama. I. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi. 23–25.10.1995, Cilt: 4, 276-283s. Trabzon.

Chang, C., & Chen, P. (2005). Human response to window views and indoor plants in the workplace. *Hortscience, 40*, 1354-1359.

Ertuğrul, M.H., Güvendi, E., Kahyaoğlu, N., Karahan, S (2019). Kahramanmaraş orman bölge müdürlüğünün 2012-2018 yılları arasında yaptığı odun hammaddesi üretiminin değerlendirilmesi. III. International Mediterranean Forest and Environment Symposium (IMFES) (pp. 531-535). Kahramanmaraş.

Keleş, S., Sivrikaya, F., & Cakir, G. (2007). Temporal changes in forest landscape patterns in Artvin Forest Planning Unit, Turkey. *Environmental monitoring and assessment, 129*(1-3), 483–490. Https://doi.org/10.1007/s10661-006-9380-9

Lohr, V.I., Pearson-Mims, C.H., & Goodwin, G.K. (1996). Interior Plants May Improve Worker Productivity and Reduce Stress in a Windowless Environment. *Journal of environmental horticulture, 14*, 97-100.

OGM (2019). Orman Genel Müdürlüğü Web Sitesi. https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/resmi istatistikler

Papinchak, H.L., Holcomb, E., Best, T., & Decoteau, D. (2009). Effectiveness of Houseplants in Reducing the Indoor Air Pollutant Ozone. *Horttechnology, 19*, 286-290.

Seçkin, B. (1995). Amenajman ve Silvikültür İlişkisi, Ekonomi-Ekoloji İlkesine Uygun Orman İşletmeciliği Özlemim, Orman Mühendisliği Dergisi, 2, 25-27.

Sivrikaya, F., Keleş, S., & Çakir, G. (2007). Spatial Distribution and Temporal Change of Carbon Storage in Timber Biomass of Two Different Forest Management Units. *Environmental Monitoring and Assessment, 132*, 429-438.

Tani, A., & Hewitt, C.N. (2009). Uptake of aldehydes and ketones at typical indoor concentrations by houseplants. *Environmental science & technology, 43 21*, 8338-43.

Tokcan, M., Kiniş, S.,2006. Bolu İlinde Odun Dışı Orman Ürünlerinin Tespiti ve Değerlendirilmesi. I. Uluslararası Odun Dışı Orman ürünleri sempozyumu. 1-4 Kasım 2006, Trabzon.

Turna, İ., & Guney, D., (2009). Altitudinal variation of some morphological characters of Scots pine (Pinus sylvestris L.) İn Turkey. *Afrıcan Journal Of Bıotechnology*, vol.8, no.2, 202-208.

Toprak Su ve Atmosferde Mikroplastikler

Microplastics in Soil, Water and Atmosphere

Ayben POLAT BULUT

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mimarlık Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Şehir ve Bölge Planlama Bölümü, 58140, Sivas

Öz

Mikroplastikler (MP) ya büyük plastik parçalarının parçalanması sonucu ya da ilaç ve kozmetik ürünlerinin üretimi gibi özel uygulamalar için özellikle üretilen 5 mm' den daha küçük plastik parçacıklardır. Plastik malzemeler dayanıklı, hafif ve ekonomik olmaları nedeniyle günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. MP' ler biyolojik parçalanmaya dirençli oldukları için yüzlerce yıl bozunmadan kalabilirler. Bu da onları küresel bir sorun haline getirmektedir ve karasal, sucul ve atmosferik çevre için endişe yaratmaktadır. MP' ler günümüzde buzullardan deniz sedimentlerine kadar birçok alana yayılmış durumdadır. MP' ler herhangi bir yolla toprak veya suya karıştıktan sonra besin zincirine girerek insanlara kadar ulaşmaktadır. Bu çalışmada MP' lerin kaynakları, taşınımları, karasal, sucul ve atmosferik çevre ile insanlar ve diğer canlılar üzerine olan etkileri değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Atmosferik Çevre, Karasal Çevre, Mikroplastikler, Sucul Çevre

Abstract

Microplastics (MP) are plastic particles smaller than 5 mm produced either as a result of the breakdown of large plastic parts or for special applications such as the production of pharmaceuticals and cosmetics. Plastic materials are widely used today because they are durable, lightweight and economical. Since MPs are resistant to biodegradation, they can remain undisturbed for hundreds of years. This makes them a global problem and creates concern for the terrestrial, aquatic and atmospheric environment. Today, MPs are spread over many areas from glaciers to marine sediments. MPs reach people by entering the food chain after mixing with soil or water in any way. In this study, sources of MPs, their transport, their effects on terrestrial, aquatic and atmospheric environment, humans and other living things were evaluated.

Key Words: Aquatic Environment, Atmospheric Environment, Microplastics, Terrestrial Environment

1. Giriş

Güçlü, korozyona dayanıklı yapıları ve düşük elektrik ve ısıl iletkenlikleri nedeniyle plastikler evrensel malzemeler haline gelmiştir (Meng ve diğ., 2020). Plastikler, mikroplastikler (1 ila <5 mm), mezoplastikler (5 ila <25 mm) ve makroplastikler (≥25 mm) olmak üzere üç boyut sınıfında sınıflandırılabilir (Rezania ve diğ., 2018). Mikroplastikler genellikle 5 mm' den küçük plastik parçaları içeren yeni bir kirletici türüdür (Rainieri ve Barranco, 2019; Szymańska ve Obolewski, 2020). Tip açısından MP' ler beş gruba ayrılmıştır: fragmanlar (sert, sivri kenarlı partiküller), mikro peletler (sert, yuvarlak partiküller), fiberler (lifli veya ince tek tip plastik teller), filmler (ince, 2 boyutlu plastik filmler) ve köpük (yani, Strafor tipi malzeme) (Qi ve diğ., 2020; Rezania ve diğ., 2018).

Nüfus yoğunluğu ve kent merkezlerine yakınlık, çevredeki MP miktarını etkileyebilecek ana faktörler olarak kabul edilmiştir (Elizalde-Velázquez ve Gómez-Oliván, 2021). Mikroplastikler dayanıklıdır, hafiftir, taşınması kolaydır ve küresel biyosferde hızla yayılabilir ve kalıcıdır (Tang ve diğ., 2021). İçerdikleri başlıca polimerler arasında polietilen tereftalat (PET), poliüretan (PU), polistiren (PS), polivinilklorür (PVC), polipropilen (PP), polyesterler, polietilen (PE) ve poliamid (PA, naylon) bulunur (Padervand ve diğ., 2020). Mikroplastikler birincil ve ikincil mikroplastikler olmak üzere iki kategoride sınıflandırılır (Akdogan ve Guven, 2019; Picó ve Barceló; 2019; Zhang ve diğ., 2020). Birincil mikroplastikler, kişisel bakım ürünlerindeki mikro boncuklar gibi özel uygulamalar için özel olarak

üretilmiş mikroplastik parçacıklardır (Zhang ve diğ., 2020); kozmetik ve tıbbi ürünlerdeki polietilen (PE), polipropilen (PP) ve polistiren (PS) partiküllerini içerir (Akdogan ve Guven, 2019). İkincil MP' ler fiziksel, kimyasal ve mikrobiyal süreçlerin sonucu olarak daha büyük plastik parçalarının bozunması sonucu ortaya çıkar (Xu ve diğ., 2019) ve MP' lerin çoğunluğunu ikincil mikroplastikler oluşturmaktadır (Li ve diğ., 2018). İkincil mikroplastiklerin kökenleri arasında balık ağları, endüstriyel reçine peletleri, ev eşyaları ve diğer atılmış plastik döküntüler bulunur. MP' lerin her iki türü de potansiyel fiziksel ve kimyasal zararları nedeniyle farklı ekosistemler ve organizmalar için büyük tehdit oluşturmaktadır (Xu ve diğ., 2019).

Son zamanlarda miktarlarındaki sürekli artış; kalıcı olmaları, her yerde bulunmaları, sucul ortamlardaki toksisitesi, biyolojik çeşitlilik ve insan sağlığı üzerinde tehdit oluşturması gibi nedenlerden dolayı önemli bir çevresel sorun haline gelmiştir (Szymańska ve Obolewski, 2020). MP' lerin zamanla, hava koşulları ve mikrobiyal süreçlerle bozunmalarının zor olması çevrede büyük miktarda birikmelerine neden olmaktadır (Xu ve diğ., 2021). MP' ler günümüzde her yerde bulunan kirleticiler olarak kabul edilmektedir ve hava, su, toprak, sedimentler gibi tüm çevresel alanların mikroplastiklerle kirlenmiş olduğu bilinmektedir (Barchiesi ve diğ., 2021). Bu kirletici maddelerin farklı doğal ortamlarda, heryerde bulunması besin zincirine girmeleri nedeniyle sadece hayvanlar için değil aynı zamanda insanlar içinde potansiyel bir risk oluşturmaktadır (Sol ve diğ., 2020). Bu kirleticiler, besin zinciri yoluyla biyomagnifikasyona uğrayarak farklı organizma dokularında geçebilir ve birikebilir. Bu nedenle, kontamine olmuş deniz ürünlerinin tüketimi, insanların mikroplastiklere, kalıcı organik kirleticilere ve potansiyel olarak toksik elementlere maruz kalması için bir yol oluşturmaktadır (Silva ve diğ., 2018). Mikroplastiklerler, yüksek konsantrasyonları ve geniş alansal taşınımları nedeniyle su, toprak ve atmosfer gibi çeşitli çevresel ortamlarda yaygın olarak bulunur. Küçük partikül boyutlarına sahip mikroplastikler, organizmalar tarafından kolayca yutulur ve besin zincirinde daha yüksek trofik düzeylere girebilir. MP' ler, kendi toksik katkı maddelerine (plastikleştiriciler, renklendiriciler) ve polimerize olmayan monomerlere ek olarak tehlikeli maddelerin (potansiyel olarak toksik elementler, antibiyotikler, polisiklik aromatik hidrokarbonlar ve patojenler gibi) taşıyıcıları olarak da kullanılabilirler (Zhou ve diğ., 2020).

MP' ler insan faaliyetllerinin sonucu olarak hem toprakta hem de çeşitli su kütlelerinde bulunurlar (Szymańska ve Obolewski, 2020). Plastik çöpler hem sucul hem de karasal çevrede önemli bir kirlilik sorunudur (Liu ve diğ., 2020). Bu çalışma kapsamında, günümüzde küresel bir sorun haline gelen MP' lerin karasal, sucul ve atmosferik çevredeki kaynakları ve karasal, sucul ve atmosferik çevre ve ayrıca mevcut ekosistemlerdeki canlılar üzerinde oluşturduğu etkiler araştırılmıştır.

2. Karasal Ortamdaki Mikroplastikler

2.1 Karasal Ortamda Mikroplastik Kaynakları ve Taşınımı

Karasal alanlardaki mikroplastikler, esas olarak temizlik ve kozmetik ürünlerden türetilen birincil parçacıklardan ve daha büyük plastik ürünlerin lifleri veya parçaları dahil olmak üzere ikincil parçacıklardan oluşur (Szymańska ve Obolewski, 2020). Topraktaki MP kirliliği birden çok kaynaktan kaynaklanmaktadır (Wang ve diğ., 2020). Arıtma çamuru depolama sahaları, kompost uygulaması, atıksuların taşması, araba lastiği kırıntıları ve atmosferik çökelme toprak ortamındaki MP' lerin başlıca kaynaklarıdır (Li ve diğ., 2020).

2.2. Karasal Ortamdaki Mikroplastiklerin İnsan Ve Diğer Canlılara Etkileri

Topraktaki MP' ler birikerek, taşınarak, erozyon yoluyla, bozunarak ve yeraltı sularına sızarak organizmaları tehdit etmekte ve insan sağlığını etkilemektedir. MP' ler toprak faunası tarafından sindirilerek midelerinde daha küçük MP' lere dönüştürülebilirler. Sincaplar ve köstebekler gibi kazıcı memeliler MP' lerin aşınmasına ve yer değiştirmesine neden olurlar (He ve diğ., 2018). Toprak doğası MP taşınımından etkilenir ve MP' ler toprak yapısı, işlevi gibi özellikler ile mikrobiyal çeşitliliği değiştirir ve bitki ve hayvanlara geçerek gıda kalitesi ve güvenliği için endişe yaratarak sonunda insan sağlığını tehdit etmektedir (Guo ve diğ., 2020). Toprak organizmaları, bağırsak yollarında biriken plastik

partiküllerin potansiyel olarak bağışıklık sistemlerine zarar vermesi ve beslenme davranışını ve gelişimini etkilemesi yoluyla MP' ler tarafından büyük ölçüde zarar görür. Ayrıca karasal ortamlarda MP' lerin toprak kalitesini koruyan temel türler olan mezofauna (solucanlar, akarlar, vb.) tarafından yutulması mezofauna miktarının azalmasına ve potansiyel olarak toprak kalitesinin düşmesine neden olabilir. Bu nedenle, MP' ler potansiyel olarak karasal organizmalar ve uzun vadeli agroekosistem işleyişi için bir tehdit oluşturmaktadır. Sonuç olarak, farklı bitki türlerinin fizyolojik ve morfolojik özellikleri, mikroplastiklerin alımını etkileyebilir. Karasal fauna ve flora tarafından MP' lerin alımını ve potansiyel riskini etkileyen diğer faktörler, partiküllerin boyutu ve şeklidir; daha küçük açısal partiküller, normal yüzeyler veya daha uzun kenarlar sunan partiküllere göre membran bariyerlerini daha kolay geçer. Polimer türü de MP' lerin organizmalar üzerindeki etkilerini belirleyen önemli bir faktördür (Petersen ve Hubbart, 2021).

2.3. Karasal Ortamdaki Mikroplastiklerin Toprağa Etkileri

Toprak yüzeyindeki plastikler sucul ortamlardaki plastiklere göre UV, aşınma ve sıcaklığa daha fazla maruz kalmaktadır (Hale ve diğ., 2020). Toprakta plastiklerin varlığı yağmur suyu ve sulama suyunun sızmasını azaltır, toprağın su tutma kapasitesini olumsuz etkiler ve oksijen transferini engeller. Plastik örtünün toprak agregalarının yapısına zarar verdiği ve toprağın havalanmasını ve su geçirgenliğini azalttığı, böylece kök büyümesini ve genel bitki verimliliğini azalttığı da bilinmektedir (Qi ve diğ., 2020). MP' ler toprak canlıları üzerinde doğrudan yada dolaylı etkiler yapabilirler. MP' lerin topraktaki taşınımı topraktaki mikrobiyal topluluğu değiştirmektedir. MP' ler tarafından toprak kümelenmesindeki değişiklikler mikrobiyal evrimi etkileyebilir ve toprak mikroorganizmaları için yeni bir ekolojik yaşam alanı sağlayabilir. Ayrıca, MP' ler topraktaki gözenekliliği ve toprak nemini de değiştirebilir, bu da topraktaki anaerobik ve aerobik mikroorganizmaların dağılımını etkileyebilir. Toprak gözeneklerindeki değişiklikler mikro habitat kaybına ve yerli mikroorganizmaların yok olmasına neden olabilir (Wu ve diğ., 2020).

MP' ler pH' ı, toprak yapısını, toprak verimini, toprak mikroorganizmalarını ve suya dayanıklı agregayı etkileyerek toprağın biyofiziksel özelliklerini etkilemektedir (Yang ve diğ., 2021). Toprakta büyük plastik filmlerin varlığı toprağın hidrolik iletkenliğini, mikrobiyal aktivitesini ve verimliliğini etkiler (Guo ve diğ., 2020). Tarım arazisinin yüzeyinde kalan büyük plastik örtü doğrudan ultraviyole ışığa maruz kalır, bu da fotodegradasyona ve kırılgan hale gelmesine neden olur. Tarım arazilerindeki plastik döküntüler üzerindeki kesme kuvvetleri, tarımsal topraklar sürüldüğünde ve diğer yetiştirme çalışmaları yapıldığında da etkili olmaktadır, bu da zaten kırılgan olan plastiklerin daha da parçalanmasına neden olmaktadır. Aynı zamanda sahaya gömülen plastik parçalar, donma ve çözülme döngüsü, basınç ve organizmalarla etkileşimden kaynaklanan hasar gibi etkiler altında mekanik olarak daha da parçalanır. Sonunda, toprakta çok sayıda mikroplastik üretilir ve tutulur, bu da karasal vahşi yaşama ve gıda güvenliğine yönelik tehdide yol açar. MP' ler, toprağın fiziksel parametrelerini değiştirmekte, böylece hidrodinamik ve mikrobiyal aktiviteyi etkilenmektedir. Mikroplastiklerin birikmesi, toprağın yapısal bütünlüğünü de bozarak, toprağın yüzeyinde kuruma çatlamalarına neden olmaktadır. Mikroplastiklerin varlığı, toprağın fiziksel ve kimyasal parametrelerinde değişikliklere neden olacak, bu da kök sistemini ve vejetatif aşamayı değiştirecek ve böylece bitki büyümesini etkileyecektir. (Yang ve diğ., 2021). MP' lerin toprak üzerindeki biyojeokimyasal etkileri ise organik karbon (C) ve nitrojen (N) döngüsünü, toprak mikrobiyal aktivitesini ve besin transferini engellemeyi içerir. Toprak MP' leri ayrıca toprak enzim aktivitelerini ve toprakta çözünmüş besinlerin birikimini etkileyebilir. MP' ler tarafından bozulan toprakların fizikokimyasal özellikleri, sürdürülemez tarım arazilerine ve çevresel dayanıklılığın azalmasına neden olabilir. (Petersen ve Hubbart, 2021).

3. Sucul Çevredeki Mikroplastikler

Deniz ortamlarındaki mikroplastikler başlıca polietilen (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), polivinil klorid (PVC), polipropilen (PA) ve polietilen tereftalat PET içerir (Guo ve Wang, 2019; Guzzetti ve diğ.,2018; Mallik ve diğ., 2021). Yoğunlukları sudan daha küçük olduğu için PE ve PP yüzen mikroplastiklerdir. PVC, PS, PET ve PA sudan daha yoğundur, bu nedenle suda batma eğilimindedirler (Guo ve Wang, 2019; Mallik ve diğ., 2021). Deniz ve kıyı ortamlarındaki makroskopik plastikler ve

mikroplastikler, plastik polimerlerin bozulmasına neden olacak şekilde güneşe maruz kalma, termal yaşlanma, biyo-film büyümesi ve oksidasyon gibi çeşitli yıpranma / yaşlanma süreçlerine tabi tutulur (Guo ve Wang, 2019). MP' lerin bozunması fiziksel özellikleri ve hidrosferde bulunan diğer kirleticilerle etkileşimleri gibi birkaç ölçüte bağlıdır (Mallik ve diğ., 2021). Bozunma, plastik polimerlerin yapılarını kıran bir dizi kimyasal reaksiyonu ifade eder (Guo ve Wang, 2019) ve bu, farklı aşınma süreçlerine göre genellikle foto bozunma, termal bozunma, biyolojik bozunma ve termos-oksidatif bozunma olarak sınıflandırılır (Guo ve Wang, 2019; Mallik ve diğ., 2021). Bozunma, makroskopik plastik atıkların parçalanmasına ve ikincil mikroplastiklerin ortamlara girmesine yol açar. Birincil ve ikincil mikroplastikler için bozunma genellikle onların renk, yüzey morfolojisi, kristallik, partikül boyutu ve yoğunluk gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerini değiştirir (Guo ve Wang, 2019).

3.1. Sucul Ortamda Mikroplastik Kaynakları ve Taşınımı

MP' ler, tatlı su ve deniz sistemlerinde her yerde bulunmaları nedeniyle su ortamları için risk oluştururlar. Plastik üretimi ve plastik atıklarının parçalanma hızının daha yüksek olduğu karasal ortamdan yağışlardan sonra akışla MP' ler su ortamlarına taşınmaktadır. Yağış ne kadar fazla olursa, yüzey akışının arazi üzerindeki erozyon etkisi o kadar güçlü olacak ve daha fazla plastik atık parçacıklar taşınacaktır (Elizalde-Velázquez ve Gómez-Oliván, 2021). Mikroplastikler çoğunlukla insan yapımı çöplerden oluşur ve okyanusta iki farklı yoldan birikme eğilimindedir: (1) Atıksu arıtma tesislerindeki içsel bozunma ve deniz ortamına arıtlımış atık su deşarjı, (2) Deniz ortamında makroplastik emisyonu ve denizde parçalanma (Mallik ve diğ., 2021). Mikroplastikler, mikroplastik içeren atık suların deşarjları (yıkama atık suları ve banyo atık suları), çevredeki plastik atıkların ayrışması, plastik ürünlerin aşınmaları (Shen ve diğ., 2020), yağmur suyu akışı ve atıksu arıtma tesisi çıkış suyu gibi yollarla yüzey sularına karışırlar (Kountik ve diğ., 2021). Ayrıca, atmosferik çökelme (Kountik ve diğ., 2021; Shen ve diğ., 2020) ile evsel ve endüstriyel atık su sızıntıları, deniz ve tatlı su sistemleri için önemli bir MP kaynağıdır. (Elizalde-Velázquez ve Gómez-Oliván, 2021). Mikroplastikler deniz ortamına esas olarak insan faaliyetleri (örneğin su ürünleri yetiştiriciliği, balıkçılık, turizm, endüstriyel ve evsel atık su sistemleri) yoluyla girer ve dağılımları çok heterojendir (Guzzzetti ve diğ.,2018). Tatlı sularda mikroplastiklerin miktarı, 1 m^{3}' te sıfır ile birkaç milyon partikül arasında değişmektedir. Bu büyük farklılıklar konumları, doğal koşullar ve insan faaliyetleri gibi etkenlerden kaynaklanır (Shen ve diğ., 2020). Mikroplastiklerin fizikokimyasal özellikleri (boyut, özgül yoğunluk, yük ve kimyasal bileşim gibi), hidrodinamik faktörler ve çevresel özellikler (debi, bulanıklık, sıcaklık ve rüzgar) taşınma dinamiklerini ve dolayısıyla MP' lerin farklı deniz alanlarındaki dağılımını ve birikimini etkileyebilir. Mikroplastikler gel-git ekosistemlerinde, yüzey sularındaki derin deniz sedimentlerinde ve kutup bölgelerinde bulunur. Bu küçük plastik parçacıklar biyolojik bozunmaya karşı çok dirençlidir ve çevrede yüzlerce yıl kalabilirler (Guzzetti ve diğ., 2018).

Kentsel alanlar mikroplastiklerin ana kaynağı olduğundan, kentsel su kütlelerindeki mikroplastik konsantrasyonunun daha yüksek olması beklenmektedir ancak tüm su kütleleri arasında, kentsel akarsular ve buzullar, en yüksek mikroplastik konsantrasyonlarına sahiptir. Buzullardaki yüksek konsantrasyon, kar birikimi sırasında sınırlı bir uzaklaşma olanağıyla birlikte net bir mikroplastik birikimine bağlanmaktadır. Bunun aksine, kentsel yerlerdeki mikroplastikler birikebilir ve yüzey akışıyla uzaklaşabilir. Bununla birlikte, buzullarda daha yüksek bir mikroplastik konsantrasyonu, rüzgar yoluyla taşınmanın mikroplastikleri çevreye dağıtmak için önemli bir yol olduğunu da göstermektedir (Kountik ve diğ., 2021).

Tüm su kütleleri arasında en çok nehirlerdeki MP derişimi farklılık göstermektedir. Nehirler, mikroplastikleri kaynaklarından karasal sınırlara ve okyanusa taşır. Bu nedenle, nehirlerdeki MP miktarını; nehrin atık su arıtma tesisleri, kentsel yağmur suyu deşarj noktaları gibi noktalara yakınlığı ve açık depolama alanlarından gelen yüzey akışı konsantrasyonu etkileyebilir. Nehirdeki mikroplastik konsantrasyonu, akış hızına göre seyrelerek değişebilir. Mevsimsel değişiklikler ve hava koşulları da aynı bölgedeki MP derişimini etkilemektedir. Numune alma noktasının su yüzeyine göre derinliği, mikroplastiklerin çökelmesi nedeniyle mikroplastik miktarı üzerinde de bir etkiye sahiptir (Kountik ve diğ., 2021).

3.2. Sucul Çevredeki Mikroplastiklerin Etkileri

Hem birincil hem de ikincil mikroplastikler deniz ortamı ve ekolojik süreçler üzerinde potansiyel negatif etkiye sahip yüksek derişimlerde deniz ortamlarında mevcuttur (Guzzetti ve diğ., 2018). Planktonlar ile benzer büyüklükte olmalarından dolayı farklı tropik seviyelerden sucul organizmalar tarafından kolaylıkla alınabilirler. Böylece, daha yüksek trofik seviyelerde birikebilirler, besin zincirine girebilirler ve insan sağlığı için potansiyel bir risk oluştururlar (Elizalde-Velázquez ve Gómez-Oliván, 2021). Büyük deniz memelileri, MP' leri doğrudan deniz ortamından veya dolaylı olarak onları adsorbe eden veya tüketen diğer organizmaların yutulması yoluyla alabilir. MP' ler, onları yutan organizma üzerinde doğrudan çeşitli olumsuz etkilere sahip olabilir. İç ve / veya dış yaralanmalar, yalancı tokluk hissi ve fizyolojik stresle sonuçlanan bağırsak yolunun tıkanması, beslenmede değişiklik ve büyümenin gecikmesi, doğurganlık ve yavruların hayatta kalma oranında azalma (Guzzetti ve diğ., 2018), nörotoksisite ve davranış değişiklikleri, histopatolojik hasar, biyokimyasal ve hematolojik değişiklikler ve embriyotoksisite bunlardan bazılarıdır (Elizalde-Velázquez ve Gómez-Oliván, 2021). Mikroplastikler tek başına veya toksik bileşikler ile birlikte biyobirikim ve biyomagnifikasyon süreçleri ile besin zincirine geçer ve deniz ürünleri ve sofra tuzu gibi biyotik ve abiyotik kirlenmelere sebep olarak insan sağlığı için potansiyel bir risk oluşturur (Guzzetti vr diğ., 2018). Mikroplastikler oksidatif stres oluşturabilir ve doku hasarına ve kronik iltihaplanmaya neden olabilir (Shen ve diğ., 2020). MP' ler ayrıca patojenik bakterilerin üreme kapasitesini ve su biyolojik topluluğunu geliştirerek mikrobiyal topluluk yapısını değiştirmede olumsuz bir rol oynarlar (Mallik ve diğ., 2021). MP birikimi, güneş ışınlarını engelleyerek fotokimyasal reaksiyonları etkiler (Ma ve diğ., 2020). Deniz ortamında, mikroplastiklerin yüzey özellikleri hızla değişebilir, bu da onların yalnızca tehlikeli kirletici maddeleri değil, aynı zamanda biyoyararlanımlarını ve toksisitelerini etkileyen organik maddeleri, besinleri ve canlı maddeleri (mikroorganizmalar, algler, bitkiler ve deniz hayvanları) de absorbe etmelerine izin verir. MP' ler üreme aktiviteleri ve hayatta kalabilmeleri için katı bir substrata ihtiyaç duyan bazı deniz organizmaları için yeni bir habitat sağlayabilir (Guzzetti ve diğ., 2018).

4. Atmosferik Çevredeki Mikroplastikler

4.1. Atmosferik Çevrede Mikroplastik Kaynakları ve Taşınımı

Atmosferdeki mikroplastiklerin kaynağı tekstil ürünleridir, her giysi yıkama başına yaklaşık 1900 elyafın salınabildiği bilinmektedir (Chen ve diğ., 2020; Prata ve diğ., 2021). Küçük lifler, giyme, temizleme ve kurutma sırasında giysilerden ve diğer lifli ürünlerden kolayca kopar. Ayrıca, endüstride sentetik tekstillerin kesilmesi de çok sayıda küçük elyaf üretebilir (Chen ve diğ., 2020). Sentetik tekstil ürünleri, sentetik kauçuk lastiklerin aşınması ve şehir tozunun mikroplastiklerin en önemli kaynakları olduğu düşünülmektedir. Havadaki mikroplastiklerin diğer kaynakları arasında giysi ve ev mobilyalarından plastik parçalar, binalar, atık yakma, düzenli depolama alanları, endüstriyel emisyonlar, partikül süspansiyonu, trafikten salınan partiküller, bahçecilik topraklarında kullanılan sentetik partiküller (örn. polistiren turba), gübre olarak kullanılan arıtma çamuru sayılabilir (Prata ve diğ., 2021). Tekstil ürünleri de dahil olmak üzere plastik atıklar düzenli depolama alanlarında birikir ve bazıları UV ışınlaması ve fiziksel aşınmadan sonra mikroplastiklere dönüşür. Ayrıca, çöplerin tam yakılmaması atmosfere büyük miktarda MP salıvermektedir. Trafik, atmosferik MP' lerin bir başka kaynağıdır (Chen ve diğ., 2020).

Atmosferik ortamdaki MP' ler üzerine yapılan araştırmalar askıdaki atmosferik mikroplastikler, atmosferik partiküller ve toz (içeride veya dışarıda) olmak üzere kabaca şu üç kategoriye ayrılmıştır. Dış ortamlardaki mikroplastiklerin taşınması esas olarak rüzgar hızı, rüzgar yönü, nem, yağış ve kar yağışı gibi meteorolojik koşullardan etkilenir. İç ortamlardaki mikroplastikler esas olarak insan faaliyetlerinden etkilenirken, insan yürüyüşü, klima kullanımı ve sıcaklık ve nem, bunların dağılımını etkiler. Ayrıca, pencere havalandırmasının neden olduğu hava akışı, iç ve dış mekan mikroplastiklerinin yer değiştirmesine neden olabilir ve iç mekan mikroplastiklerinin miktarı (1,1–59,4 MP/m^3), dışarıdakinden (0,3–1,5 MP/m^3) çok daha yüksektir. Lifli olmayan mikroplastikler insan faaliyetlerine karşı daha hassastır ve lifli askıdaki mikroplastiklerin rüzgarla taşınması daha olasıdır. (Huang ve diğ., 2021). Ayrıca

mikroplastik parçacıkların yoğunluğu ve şekli, taşınmaları üzerinde önemli etkilere sahiptir. Rüzgarla yüksek enlemlere taşınan mikroplastikler, buzullarda mikroplastik birikiminin nedeni olabilir. Kriyosfer bölgelerindeki buzullar, çökelme veya kar yağışı yoluyla atmosferdeki kirleticileri biriktirmek için ideal ortamlardır (Zhang ve diğ., 2020). Rüzgar, küçük boyutları ve düşük yoğunlukları nedeniyle MP' lerin dağılımında birincil faktör olarak kabul edilir ve küçük MP' lerin uzak bölgelere yayılmasındaki itici güç olmuştur. Yerel meteorolojik faktörler MP' lerin zamansal değişiminde önemli mekanizmalardır. MP' lerin birikimi nem, yağmur, kar, rüzgar, fırtına hızı ve basınç gibi bazı faktörlerle ilişkilidir. Hem yağmur hem de kar yağışı, atmosferik MP miktarıyla önemli ölçüde ilişkilendirilmiştir; ancak, plastik türü yağmur, rüzgar veya karla önemli ölçüde ilişkili değildir. Ayrıca Klein ve Fischer (2019), MP miktarı ile yağmur ve sıcaklık arasında önemli bir ilişki olmadığını, rüzgar ve fırtına olaylarıyla ilişkili olduğunu ifade etmiştir (Can Güven, 2021).

Mikroplastiklerin iç ve dış ortamlardaki dağılımı birkaç faktöre bağlıdır. Atmosferdeki mikroplastik davranışını ve taşınmasını etkileyen faktörler: (a) dikey kirlilik konsantrasyon gradyanı (yere yakın yerlerde konsantrasyonlar daha yüksektir); (b) rüzgar hızı (rüzgar hızındaki artış, konsantrasyonda azalmaya neden olur); (c) rüzgar yönü; (d) çökelme (2,5 mm'den büyük partikülleri etkiler); ve (e) sıcaklık (düşük sıcaklıklar çekirdeklenmeyi ve yoğunlaşmayı artırır ve bu da daha düşük atmosferik konsantrasyona neden olur). Ayrıca, şehir dışı ortamlardaki hava kirleticilerinin dağılımı, kentsel topoğrafyanın (örneğin binalar arasındaki boşluk), yerel meteorolojinin ve termal sirkülasyonun (hava akışını bozan ısı adalarının) neden olduğu rüzgar modülasyonundan kaynaklanabilir. Partikülün atmosferde kalma süresi ve müteakip atmosferik serpinti, yağış, rüzgar, yerel koşullar ve partikül boyutundan etkilenir, bu da daha büyük partiküllerin yerçekimi ile veya çekirdeklenmeden sonra çökelmesine neden olur (Prata ve diğ., 2021).

4.2. Atmosfeerik Çevredeki Mikroplastiklerin Etkileri

Soluma yoluyla mikroplastik maruziyet meydana gelebilir, ancak insan sağlığına olan yan etkileri bilinmemektedir (Akdoğan ve Güven, 2019). İnsan akciğerlerine solunan mikroplastikler, mekanik yöntemler (hapşırma), makrofajlar tarafından fagositoz ve lenfatik taşıma gibi temizleme mekanizmalarına maruz kalır. Bu yolla, birçok MP' nin vücuda girmesi engellenebilir. Bununla birlikte, bazı MP' ler temizleme mekanizmalarından kaçabilir ve sonunda akciğerlere girebilir. MP' ler, proteazların ve reaktif oksijen türlerinin salınmasından kaynaklanan iltihaplanmaya neden olmaktadır (Chen ve diğ., 2020). İnsanların atmosferik mikroplastiklere maruz kalması kaynaklara bağlıdır ve meteorolojik ve coğrafi faktörlerden etkilenir. Seyrelme nedeniyle dış havada düşük konsantrasyonlarda mikroplastiklere maruz kalma beklenir. Bununla birlikte, olumsuz atmosferik koşullarda (örneğin, düşük rüzgar hızı), mikroplastiklerin uzaklaştırılması azaltılabilir ve bu da daha yüksek konsantrasyonlara maruz kalmaya neden olabilir (Prata ve diğ., 2021).

Tartışma ve Sonuçlar

Mikroplastiklerin çevre ve insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkileri son yıllarda dikkat çekmeye başlamış ve güncel bir araştırma konusu olmuş ancak henüz tam olarak belirlenememiştir. Dayanıklı, hafif ve ekonomik olmaları plastik ürünleri cazip hale getiren en önemli özellikleridir. Biyolojik bozunmaya karşı dirençli olduklarından yüzyıllarca bozunmadan kalabilirler ve toprak, su ve havayı kirletirler. Ayrıca besin zincirine girerek insanlar ve diğer canlıların dokularında birikirler ve onlara zarar verirler. Bu nedenle vakit kaybetmeden mikroplastik salınımı ve kirliliğini azaltacak önlemler alınmalıdır. Bunlardan ilki atıklar kaynağında ayrıştırılmalı ve plastik atıklar geri dönüşüme gönderilmelidir. Plastik üretiminde kullanılan toksik maddeler yasal düzenlemelerle kısıtlanmalıdır. İnsanlar bilgilendirilerek plastik malzemeler yerine daha sağlıklı ve çevre dostu malzemeleri kullanmaya teşvik edilmelidir.

Kaynaklar

Akdogan, Z. and Guven, B. (2019). Microplastics in the environment: A critical review of current understanding and identification of future research needs. *Environmental Pollution, 254*, 113011.

Barchiesi, M., Chiavola, A., Di Marcantonio, C., & Boni, M. R. (2020). Presence and fate of microplastics in the water sources: focus on the role of wastewater and drinking water treatment plants. *Journal of Water Process Engineering*, 101787.

Can-Güven, E. (2021). Microplastics as emerging atmospheric pollutants: a review and bibliometric analysis. *Air Quality, Atmosphere & Health*, *14*(2), 203-215.

Chen, G., Feng, Q. and Wang, J. (2020). Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. *Science of The Total Environment*, *703*, 135504.

Elizalde-Velázquez, G. A. and Gómez-Oliván, L. M. (2021). Microplastics in aquatic environments: A review on occurrence, distribution, toxic effects, and implications for human health. S*cience of The Total Environment*,

Guo, J. J., Huang, X. P., Xiang, L., Wang, Y. Z., Li, Y. W., Li, H., ... and Wong, M. H. (2020). Source, migration and toxicology of microplastics in soil. *Environment international*, *137*, 105263.*780*, 146551.

Guo, X. and Wang, J. (2019). The chemical behaviors of microplastics in marine environment: A review. *Marine pollution bulletin*, *142*, 1-14.

Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S. and Faggio, C. (2018). Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environmental toxicology and pharmacology*, *64*, 164-171.

Hale, R. C., Seeley, M. E., La Guardia, M. J., Mai, L. and Zeng, E. Y. (2020). A global perspective on microplastics. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *125*(1), e2018JC014719.

He, D., Luo, Y., Lu, S., Liu, M., Song, Y. and Lei, L. (2018). Microplastics in soils: analytical methods, pollution characteristics and ecological risks. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, *109*, 163-172.

Huang, D., Tao, J., Cheng, M., Deng, R., Chen, S., Yin, L. and Li, R. (2020). Microplastics and Nanoplastics in the Environment: Macroscopic Transport and Effects on Creatures. *Journal of Hazardous Materials*, 124399.

Klein, M. and Fischer, E. K. (2019). Microplastic abundance in atmospheric deposition within the Metropolitan area of Hamburg, Germany. *Science of the Total Environment*, *685*, 96-103.

Koutnik, V. S., Leonard, J., Alkidim, S., DePrima, F., Ravi, S., Hoek, E. and Mohanty, S. K. (2021). Distribution of microplastics in soil and freshwater environments: Global analysis and framework for transport modeling. *Environmental Pollution*, 116552.

Li, J., Liu, H. and Chen, J. P. (2018). Microplastics in freshwater systems: A review on occurrence, environmental effects, and methods for microplastics detection. *Water research*, *137*, 362-374.

Li, J., Song, Y. and Cai, Y. (2020). Focus topics on microplastics in soil: analytical methods, occurrence, transport, and ecological risks. *Environmental Pollution*, *257*, 113570.

Liu, F., Nord, N. B., Bester, K. and Vollertsen, J. (2020). Microplastics Removal from Treated Wastewater by a Biofilter. *Water*, *12*(4), 1085.

Ma, H., Pu, S., Liu, S., Bai, Y., Mandal, S. and Xing, B. (2020). Microplastics in aquatic environments: Toxicity to trigger ecological consequences. *Environmental Pollution*, *261*, 114089.

Mallik, A., Xavier, K. M., Naidu, B. C. and Nayak, B. B. (2021). Ecotoxicological and physiological risks of microplastics on fish and their possible mitigation measures. *Science of The Total Environment*, *779*, 146433.

Meng, Y., Kelly, F. J. and Wright, S. L. (2020). Advances and challenges of microplastic pollution in freshwater ecosystems: A UK perspective. *Environmental Pollution*, *256*, 113445.

Padervand, M., Lichtfouse, E., Robert, D. and Wang, C. (2020). Removal of microplastics from the environment. A review. *Environmental Chemistry Letters*, *18*(3), 807-828.

Petersen, F. and Hubbart, J. A. (2020). The Occurrence and Transport of Microplastics: The State of the Science. *Science of The Total Environment*, 143936.

Picó, Y. and Barceló, D. (2019). Analysis and prevention of microplastics pollution in water: current perspectives and future directions. *ACS omega*, *4*(4), 6709-6719.

Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Andrady, A. L., Duarte, A. C. and Rocha-Santos, T. (2021). A One Health perspective of the impacts of microplastics on animal, human and environmental health. *Science of The Total Environment*, 146094.

Qi, R., Jones, D. L., Li, Z., Liu, Q. and Yan, C. (2020). Behavior of microplastics and plastic film residues in the soil environment: A critical review. *Science of the Total Environment*, *703*, 134722.

Rainieri, S. and Barranco, A. (2019). Microplastics, a food safety issue?. Trends in food science & technology, 84, 55-57.

Rezania, S., Park, J., Din, M. F. M., Taib, S. M., Talaiekhozani, A., Yadav, K. K. and Kamyab, H. (2018). Microplastics pollution in different aquatic environments and biota: A review of recent studies. *Marine pollution bulletin*, *133*, 191-208.

Shen, M., Song, B., Zhu, Y., Zeng, G., Zhang, Y., Yang, Y., ... and Yi, H. (2020). Removal of microplastics via drinking water treatment: Current knowledge and future directions. *Chemosphere*, *251*, 126612.

Silva, A. B., Bastos, A. S., Justino, C. I., da Costa, J. P., Duarte, A. C. and Rocha-Santos, T. A. (2018). Microplastics in the environment: Challenges in analytical chemistry-A review. *Analytica chimica acta*, *1017*, 1-19.

Sol, D., Laca, A., Laca, A. and Díaz, M. (2020). Approaching the environmental problem of microplastics: Importance of WWTP treatments. *Science of The Total Environment*, 140016.

Szymańska, M. and Obolewski, K. (2020). Microplastics as contaminants in freshwater environments: A multidisciplinary review. *Ecohydrology & Hydrobiology, 20*, 333-345.
Tang, Y., Liu, Y., Chen, Y., Zhang, W., Zhao, J., He, S., Yang, C., Zhang, T., Tang, C., Zhang, C. and Yang, Z. (2020). A review: Research progress on microplastic pollutants in aquatic environments. Science of The Total Environment, 142572.
Wang, W., Ge, J., Yu, X. and Li, H. (2020). Environmental fate and impacts of microplastics in soil ecosystems: Progress and perspective. *Science of The Total Environment*, *708*, 134841.
Wu, M., Yang, C., Du, C. and Liu, H. (2020). Microplastics in waters and soils: Occurrence, analytical methods and ecotoxicological effects. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *202*, 110910.
Xu, X., Jian, Y., Xue, Y., Hou, Q. and Wang, L. (2019). Microplastics in the wastewater treatment plants (WWTPs): Occurrence and removal. *Chemosphere*, *235*, 1089-1096.
Yang, L., Zhang, Y., Kang, S., Wang, Z. and Wu, C. (2021). Microplastics in soil: A review on methods, occurrence, sources, and potential risk. *Science of The Total Environment*, 146546.
Zhang, Y., Kang, S., Allen, S., Allen, D., Gao, T. and Sillanpää, M. (2020). Atmospheric microplastics: A review on current status and perspectives. *Earth-Science Reviews*, *203*, 103118.
Zhou, Y., Wang, J., Zou, M., Jia, Z. and Zhou, S. (2020). Microplastics in soils: A review of methods, occurrence, fate, transport, ecological and environmental risks. *Science of The Total Environment*, 141368.

The Effect of Green Buildings on Indoor Air Quality

A. Elif ATEŞ*[1,a], Sinan ATEŞ[2,b]
[1]*Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Departmant of Environmental Engineering, 34320, Istanbul*
[2]*Yildiz Technical University, Faculty of Civil Engineering, Department of Environmental Engineering, 34220, Istanbul*

Abstract
Green buildings are developed with the aim of minimizing the overall effect of buildings on the atmosphere and human health. Green buildings are those that are built to minimize waste, emissions, and environmental deterioration and are resource-effective over their life cycle, from site selection to planning, installation, service, and repair, and final disposal. Indoor air quality studies conducted in indoor environments are generally based on data collected from surveys rather than indoor analysis. In the literature studies, evaluations were made as a result of the questionnaire studies covering only the people living in the environment without measuring the carbon dioxide, particulate matter, and VOCs results used to measure the indoor air quality. Although there are results that the use of green buildings will increase indoor air quality, it may affect the air quality negatively depending on the material used. Green cleaner materials, for example, also contain scent chemicals (e.g. terpenes), which are primary pollutants that react with ozone to form a variety of secondary pollutants, including formaldehyde and ultrafine particles. However, according to the results of some surveys and analyzes, it was determined that green buildings have higher indoor air quality. It is thought that the differences in the results of the survey studies are due to social status. Indoor air quality measurement results showed that there is not very high indoor quality in green buildings. When the green buildings in the world are researched, it is seen that they are built by important companies and it has been determined that the people working in these buildings are very satisfied with the green buildings because they are proud of their place.

Keywords: Indoor Air Quality, Indoor Pollutant Emissions, Green Building Certificates

Yeşil Binaların İç Ortam Hava Kalitesine Etkisi

Özet
Yeşil binalar, binaların atmosfer ve insan sağlığı üzerindeki genel etkisini en aza indirmek amacıyla geliştirilmektedir. Yeşil binalar, atıkları, emisyonları ve çevresel bozulmayı en aza indirmek için inşa edilen ve saha seçiminden planlama, kurulum, servis ve onarım ve nihai bertarafa kadar yaşam döngüleri boyunca kaynak açısından verimli olan binalardır. İç ortamlarda yürütülen iç hava kalitesi çalışmaları, genellikle iç mekan analizlerinden ziyade anketlerden toplanan verilere dayanmaktadır. Literatür çalışmalarında iç hava kalitesini ölçmek için kullanılan karbondioksit, partikül madde ve VOC sonuçları ölçülmeden sadece ortamda yaşayan insanları kapsayan anket çalışmaları sonucunda değerlendirmeler yapılmıştır. Yeşil bina kullanımının iç hava kalitesini artıracağına dair sonuçlar olsa da kullanılan malzemeye bağlı olarak hava kalitesini olumsuz etkileyebilmektedir. Örneğin yeşil temizleyici malzemeler, formaldehit ve ultra ince partiküller dahil olmak üzere çeşitli ikincil kirleticiler oluşturmak için ozonla reaksiyona giren birincil kirleticiler olan koku kimyasallarını (örneğin terpenler) de içerir. Ancak bazı anket ve analizlerin sonuçlarına göre yeşil binaların iç mekan hava kalitesinin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Anket çalışmalarının sonuçlarındaki farklılıkların sosyal statüden kaynaklandığı düşünülmektedir. İç hava kalitesi ölçüm sonuçları yeşil binalarda iç mekan kalitesinin çok yüksek olmadığını göstermiştir. Dünyadaki yeşil binalar araştırıldığında önemli firmalar tarafından yapıldığı görülmüş ve bu binalarda çalışan kişilerin bulundukları yerden gurur duydukları için yeşil binalardan oldukça memnun oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İç Hava Kalitesi, İç Ortam Kirletici Emisyonları, Yeşil Bina Sertifikaları

1. Introduction

Green buildings have been developed to reduce the negative effects of buildings on both people and the environment. Green buildings waste collection system, ventilation system, together with the construction system, efficient resource management is emphasized in the cycle of the buildings from the installation to the end user. In green building designs, the indoor air quality is higher than the indoor air quality of traditional buildings, so the outside air mixing is higher in ventilation. In addition, recycled materials are used in the construction and decoration of green buildings [1-4].

The number of green building constructions is increasing rapidly in developed countries with the encouragement of the governments. Therefore, a certificate system is applied to check whether the building is a green building or not. Countries such as Germany, Japan and America have their own green building identification and classification certificate programs. The criteria for these certificates vary from country to country [5-8]. Although there are different definitions of indoor air quality in the literature, there is no standard definition. The standards set vary from country to country. Indoor air quality is determined depending on the outdoor air quality [5,9].

Indoor air quality standards have been determined in green building certificate programs and some values have been changed by updating the certificates. For example, although ozone concentration was not included as a criterion in LEED certification in the first years, it was determined as 0.075 ppm with the last update. In the New York State GBTC program, there is no criteria for ozone concentration. Although the carbon dioxide concentration was 800 ppm in LEED v2.0, this value was determined as 700 ppm with the LEED-NC that came with the latest update. Unlike these values, the formaldehyde criterion was increased from 20 ppb in LEED v2.0 to 27 ppb in LEED-NC standard. Although the radon parameter is 4 pc/L in the New York State GBTC program, it is not in the LEED certification [10].

2. Indoor Air Quality of Green Buildings

In the literature, studies on determining green building indoor air quality by measurements are limited. Studies are generally carried out with data from surveys. In some studies where the indoor air quality of green buildings is measured with sensors, the indoor air quality of green buildings is higher, while in some buildings it is the same as traditional buildings. This criterion can be ignored since it is not mandatory to fully meet the indoor air quality standards for green building certification [10-12].

Survey studies also have positive psychological effects that people work and live in green buildings, increasing their social status. For this reason, the people participating in the survey give positive answers to the questions of indoor air quality, as well as other criteria. In addition, studies show that positive psychology is effective on human health and that people living in green buildings get sick less [13]. Although the use of recycled materials in green buildings reduces resource consumption, it can adversely affect indoor air quality. The solid material used in the construction building material adversely affects the health of the building occupants due to the heavy metals it contains. This situation is important in terms of the toxic effect of using recycled materials, for example [14].

In order to save energy in some Green buildings, indoor air is circulated by ignoring the use of high outdoor air in the design. By installing filters and air cleaning structures in ventilation systems, indoor air is given inside by cleaning the indoor air. However, delaying the replacement period of the filters due to the cost decreases the cleaning efficiency of the air and indirectly causes the indoor air quality to decrease [5, 15].

Cleaning materials classified as green products are used in the cleaning of green buildings. Although these cleaning products are called green, they cause the formation of formaldehyde and other pollutants. In addition, the presence of chemicals that provide odor in green cleaning products adversely affect human health in the case of the use of these products. There is no standard for controlling formaldehyde pollution caused by green cleaning products. In the studies, traditional cleaning products and green cleaning products were compared and it was determined that the VOC content of green cleaning products was

higher than the others. In some countries, the use of green cleaning products is prohibited to prevent pollution caused by these products [16].

Certified special paints are used in green buildings. These paints feature low VOC emissions. It has been found that these certified paints used in studies have approximately VOC emissions compared to other paints and it has been determined that they cause other harmful emissions such as SVOC. VOC emissions in green buildings are not only caused by cleaning products and paints. It is released due to the building materials used and there is no specific standard emission value [5].

A study was conducted to compare the indoor air quality of traditional buildings and green buildings. While PM2.5 is 29 $\mu g/m^3$ in indoor air quality in traditional buildings, this value is 21 $\mu g/m^3$ in green buildings [11]. In another study, it was determined that green buildings are located in areas with more polluted outdoor environment due to the fact that they are built in the city center, and therefore the indoor air quality is affected by the outdoor environment [5]. In the study, in which indoor air quality in green buildings was monitored for 5 years with sensors, carbon dioxide, carbon monoxide, TVOC, toluene and formaldehyde were measured. As a result of the study, it was determined that carbon dioxide and carbon moxide emissions in the indoor environment changed depending on the outdoor air pollution. The most important reason for this is that air pollution caused by traffic enters the building and spoils the ambient air. TVOC emission was high in the first year, but this value decreased over time in the other years. It has been determined that the reason for the change in this value is depending on the habits of the people living in the building, nail polish, cleaning products and electronic devices. The reason for the increase in fromaldehyde rate in the last year may be due to the possibility of building occupants to have their houses painted and to buy new furniture [1].

3. Conculusion

In this study, the effect of green buildings on indoor air quality was investigated. The study on the monitoring of green building indoor air quality with analyzes is quite limited, and it is generally found in the literature as a survey evaluation. Due to the fact that green buildings are an indicator of high socioeconomic power, people are proud to live or work in these buildings, and they approach all criteria, including indoor air quality, positively in the survey. In studies where these buildings are tracked with sensors, it is unclear whether green buildings have better indoor air quality compared to traditional buildings. Factors such as the construction of green buildings in the center of the city, the reduction of outdoor air intake, the use of recycled materials, unlike the design plans due to energy savings, change the indoor air quality. However, since the use of so-called green products for green buildings indirectly impairs indoor air quality, the use of these products should be limited or prohibited. Indoor air quality is a very important parameter for human health, and it should have a higher score in the green building certificate and be constantly monitored.

References

[1] Xiong, Y., Krogmann, U., Mainelis, G., Rodenburg, L. A., & Andrews, C. J. (2015). Indoor air quality in green buildings: A case-study in a residential high-rise building in the northeastern United States. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 50(3), 225-242.
[2] U.S. Environmental Protection Agency. Definition of green building. Available at http://www.epa.gov/greenbuilding/pubs/about.htm (accessed Mar 2013).
[3] U.S. Environmental Protection Agency (US EPA). Report to Congress on indoor air quality. Volume 2: Assessment and control of indoor air pollution. EPA/400/1-89/001C. US EPA: Washington, DC, 1989.
[4] U.S. Green Building Council. LEED 2009 for new construction and major renovations. Available at http://www.usgbc.org/ShowFile.aspx?DocumentID=5546 (accessed Jul 2009).
[5] Steinemann, A., Wargocki, P., & Rismanchi, B. (2017). Ten questions concerning green buildings and indoor air quality. Building and Environment, 112, 351-358.
[6] Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB) (2016) Available: http://www.dgnb.de/en/
[7] Council, U. G. B. (2008). Leadership in energy and environmental design. nd). http://www. usgbc. org/leed.

[8] Japan Sustainable Building Consortium. (2006). Comprehensive assessment system for built environment efficiency. Japan sustainable building consortium–[viewed on 20 Jan 2011]: Available on the Internet: http://www. ibec. or. jp/CASBEE/english/theassessment-method-employed-by-casbee.
[9] Bluyssen, P. M. (2009). Towards an integrative approach of improving indoor air quality. Building and Environment, 44(9), 1980-1989.
[10] Xiong, Y., Krogmann, U., Mainelis, G., Rodenburg, L. A., & Andrews, C. J. (2015). Indoor air quality in green buildings: A case-study in a residential high-rise building in the northeastern United States. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 50(3), 225-242.
[11] Newsham, G. R., Birt, B. J., Arsenault, C., Thompson, A. J., Veitch, J. A., Mancini, S., ... & Burns, G. J. (2013). Do 'green'buildings have better indoor environments? New evidence. Building Research & Information, 41(4), 415-434.
[12] Altomonte, S., Schiavon, S., Kent, M. G., & Brager, G. (2019). Indoor environmental quality and occupant satisfaction in green-certified buildings. Building Research & Information, 47(3), 255-274.
[13] Kats, G. (2003). Green building costs and financial benefits (pp. 2-8). Boston, MA: Massachusetts technology collaborative.
[14] Kovler, K. (2012). Does the utilization of coal fly ash in concrete construction present a radiation hazard?. Construction and Building Materials, 29, 158-166.
[15] Siegel, J. A. (2016). Primary and secondary consequences of indoor air cleaners. Indoor air, 26(1), 88-96.
[16] Steinemann, A. (2015). Volatile emissions from common consumer products. Air Quality, Atmosphere & Health, 8(3), 273-281.

Comparison of Energy Efficiency of Biomass in Biohydrogen Production with Dark Fermentation Method

A. Elif ATEŞ*[1,a]
[1]*Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Departmant of Environmental Engineering, 34320, Istanbul*

Abstract
The fermentation method is one of the methods of hydrogen production from biomass and it is divided into dark fermentation and photo-fermentation. In the dark fermentation process, anaerobic bacteria can produce hydrogen from biomass using hydrogenase enzyme. This process is one of the best-understood methods in biohydrogen production due to the well-known metabolism of bacteria and its long-term operation. It is one of the important advantages that different bacteria can be used in this method and the biomass sources can be quite diverse. In addition, although the lack of light and oxygen is one of the factors that reduce the cost, this situation also reduces the hydrogen production efficiency. Although it has low hydrogen efficiency compared to photo-fermantation method, the variety of carbon source allows the process to be used in hydrogen production in different areas. It has been determined in the studies that process parameters such as pH, bacteria used, hydraulic holding time have an effect on hydrogen yield, as well as biomass used can increase hydrogen yield. For example, when using glucose as a biomass source in hydrogen production by dark fermentation method, hydrogen production changes as 1-5 mol H_2 / mol glucose. When corn syrup is used as biomass, it has been observed that the hydrogen production yield is approximately 37 mL H_2 / g raw material. In addition, hydrogen production efficiency changes with the change of bacterial species. For example, in two different studies using glucose as a biomass source in biohydrogen production with this method, the hydrogen production efficiency using Anaerobic sludge is approximately 2 mol H_2 / mol glucose, while the hydrogen production efficiency when E. cloacae strain DM11 bacteria products approximately 4.5 mol H_2 / mol glucose. In this study, the advantages and disadvantages are discussed by comparing hydrogen production data according to biomass and bacteria species.

Keywords: Biohydrogen, Dark Fermentation, Energy Efficiency

Karanlık Fermantasyon Yöntemi ile Biyohidrojen Üretiminde Biyokütlenin Enerji Verimliliğinin Karşılaştırılması

Özet
Fermantasyon yöntemi, biyokütleden hidrojen üretim yöntemlerinden biridir ve karanlık fermantasyon ve foto-fermantasyon olarak ikiye ayrılır. Karanlık fermantasyon sürecinde anaerobik bakteriler, hidrojenaz enzimi kullanarak biyokütleden hidrojen üretebilir. Bu işlem, bakterilerin iyi bilinen metabolizması ve uzun süreli çalışması nedeniyle biyohidrojen üretiminde en iyi anlaşılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde farklı bakterilerin kullanılabilmesi ve biyokütle kaynaklarının oldukça çeşitli olabilmesi önemli avantajlardan biridir. Ayrıca ışık ve oksijen eksikliği maliyeti düşüren etkenlerden biri olsa da bu durum hidrojen üretim verimini de düşürmektedir. Foto-fermantasyon yöntemine göre hidrojen verimi düşük olmasına rağmen, karbon kaynağının çeşitliliği işlemin farklı alanlarda hidrojen üretiminde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. pH, kullanılan bakteri, hidrolik bekletme süresi gibi proses parametrelerinin hidrojen verimi üzerinde etkili olduğu, kullanılan biyokütlenin de hidrojen verimini artırabileceği yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Örneğin karanlık fermantasyon yöntemi ile hidrojen üretiminde biyokütle kaynağı olarak glikoz kullanıldığında hidrojen üretimi 1-5 mol H_2/mol glikoz olarak

değişmektedir. Biyokütle olarak mısır şurubu kullanıldığında hidrojen üretim veriminin yaklaşık 37 mL H_2/g hammadde olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bakteri türlerinin değişmesiyle hidrojen üretim verimi de değişmektedir. Örneğin, bu yöntemle biyohidrojen üretiminde biyokütle kaynağı olarak glikozun kullanıldığı iki farklı çalışmada, Anaerobik çamur kullanılarak hidrojen üretim verimi yaklaşık 2 mol H_2/mol glikoz iken, E. cloacae suşu DM11 bakteri ürünleri yaklaşık 4,5 mol H_2/mol glikoz olduğunda hidrojen üretim verimliliği. Bu çalışmada biyokütle ve bakteri türlerine göre hidrojen üretim verileri karşılaştırılarak avantaj ve dezavantajları tartışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Biyohidrojen, Karanlık fermantasyon, Enerji verimliliği

1. Introduction

In order to reduce the use of fossil fuels, researchers turned to sustainable energy sources such as hydrogen. Hydrogen gas has a high energy content (142 MJ/kg) and is an energy source that is not readily available in nature. Hydrogen gas can be produced using biological processes in recent studies [1]. In the literature, photo-fermentation, dark fermentation, gasification and biophotolysis methods are used in biohydrogen production [2]. Although hydrogen production studies are carried out by biological methods, the production efficiency is lower than electro-chemical methods.

Bio-hydrogen generation using dark fermentation to create hydrogen energy is a more environmentally friendly alternative to fossil fuels that can assist in meeting carbon emission reduction targets. At the moment, increased effort is being made to improve hydrogen generation using this potential method. While some of the study findings are encouraging, there is still a long way to go, with two major obstacles to overcome. To begin, bioreactor designs require significant improvement in several critical areas. Second, these reactors require low-cost raw ingredients. As a consequence to all of these issues, systems must attain better levels of substrate conversion efficiency in order to minimize both raw material and processing costs per unit of output [3].

The imminent energy deficit has led to the search for environmentally benign, biologically degradable, and sustainable, cost-effective biofuels from diverse organic sources of renewable carbon [4]. Hydrogen from both renewable and non-renewable energy sources among biofuels is very promising as it has clean combustion characteristics and application in the transport and generation of electricityv[5-7].

Many dark fermentation experiments utilize glucose or sucrose as model substrates for hydrogen generation. Fewer research have focused on solid substrate conversion. To be suitable as a substrate for sustained biohydrogen generation, organic resources must be plentiful, easily accessible, and inexpensive. Food and agri-waste fulfill all these criteria. Additionally, Western Europe produced approximately 0.7 billion tons of agricultural and forestry waste between 1998 and 2001 [8]. In France, the amount of total yearly garbage output rose to 849 million tons by 2006, of which agricultural and forestry waste made up approximately 43 percent, i.e. 374 million tons [9]. Agri-waste, which totaled about 175 million tons of biomass per year in 2000, included 25 million tons of agricultural biomass. It's worth comparing German municipal trash with industrial waste to show the vast differences in amounts [10].

2. Dark Fermentation

Dark fermentation is the acidogenic fermentation of biomass with high carbohydrate content in the absence of light and oxygen. In this process, hydrogen production from biomass is obtained as a result of a series of biochemical reactions with nitrogenase and hydrogenase enzymes. Although theoretically, 4 moles of hydrogen can be produced from 1 mole of glucose, this ratio changes in studies. Compared to other bio-hydrogen production methods, dark fermentation has advantages such as hydrogen production by using different wastes, ease of reactor setup and high hydrogen production efficiency. Dark fermentation has disadvantages such as by-product formation during hydrogen production, variation in hydrogen production efficiency depending on the reactor type, and low COD removal efficiency in bioreactor. In order to increase the hydrogen production efficiency with the dark fermentation method,

multidisciplinary studies should be carried out and the hydrogen source can be ensured to have low COD and high energy content [2]

3. Energy Efficiency of Biomass

In the literature, hydrogen production from different biomass by dark fermentation method has been studied and the hydrogen production efficiency by biomass is summarized in Table 1. Although there is a lot of work on organic substrates, yields less than 0.5 percent of the theoretical hydrogen production efficiency have been obtained. The lowest hydrogen production efficiency is obtained when using Sugarcane Bagasse Hydrolysate as the substrate, while the highest hydrogen production efficiency is obtained when Cassava Residue is used as the substrate. When the table is examined, it is seen that the substrates have wide hydrogen production efficiency. The reason for this is that the biorectors and microorganisms used in hydrogen production are different. By determining the microorganism suitable for the biomass for hydrogen production and optimizing the system, hydrogen production efficiency in many biomass can be 100 ml H_2/g biomass. In terms of the evaluation of waste anaerobic sludge, hydrogen production by dark fermentation can be encouraged. However, in studies where glucose is used as a substrate, it is seen that the use of E. cloacae strain DM11 bacteria instead of anaerobic sludge increases the hydrogen production efficiency. When corn-derived substrates were compared within themselves, the highest hydrogen production efficiency was obtained with the use of cornstalk. In the evaluation of energy production from food waste, its use for hydrogen production is primarily tried in studies because it has high hydrogen production efficiency [10-19].

Table 1. Hydrogen production efficiencies of different biomasses [10,18,19]

Substrate	**Bacterial strains**	**Hydrogen Yield (mlH_2/g biomass)**
Corn Straw	Dairy manure	9-70
Corn Stover	Dairy manure	50-65
Cornstalk	Dairy manure	3-150
Grass Silage	Clostridium pasteurianum	6-16
Wheat Straw	Anaerobic sludge	1-50
Food Waste	Sewage sludge	3-200
Sugarcane Bagasse Hydrolysate	Anaerobic sludge	0.8-2
Sugarcane Bagasse	Anaerobic sludge	10-112
Corn Cob	Dairy manure	13-120
Rice Straw	Clostridium butirikum GS2	0.3-155
Oil Palm Empty Fruit Bunch Hydrolysate	River sludge	1-275
Cassava Residue	Clostridium species	10-342
Glucose	Anaerobic sludge	2
Glucose	E. cloacae strain DM11 bacteria	4.5
Corn Syrup	Dairy manure	37

In order to increase the hydrogen yield, a bioreactor should be developed considering the substrate, microorganism, desired hydrogen production and cost. In addition, the selected bioreactor should be easy to install, do not require qualified personnel to operate, should not be difficult to construct, and should be able to operate at a capacity to provide hydrogen production efficiency at large scales. Since dark fermentation does not need light and oxygen, it is more cost-effective and feasible than other bio-hydrogen

production methods, promising in future studies. In the studies in the literature, hybrid systems are created by using the photo-fermentation method together with the dark fermentation method in order to increase the hydrogen production efficiency. Bio-hydrogen production from waste is one of the important issues in sustainable energy management for future generations.

References

[1] Noblecourt, A., Christophe, G., Larroche, C., & Fontanille, P. (2018). Hydrogen production by dark fermentation from pre-fermented depackaging food wastes. Bioresource technology, 247, 864-870.

[2] Dincer, I., & Acar, C. (2015). Review and evaluation of hydrogen production methods for better sustainability. International journal of hydrogen energy, 40(34), 11094-11111.

[3] Ren, N., Guo, W., Liu, B., Cao, G., & Ding, J. (2011). Biological hydrogen production by dark fermentation: challenges and prospects towards scaled-up production. Current Opinion in Biotechnology, 22(3), 365-370.

[4] B.S.F. Boodhun, A. Mudhoo, G. Kumar, S.-H. Kim, C.-Y. Lin Research perspectives on constraints, prospects and opportunities in biohydrogen production Int J Hydrogen Energy, 42 (2017), pp. 27471-27481

[5] N.-Q. Ren, L. Zhao, C. Chen, W.-Q. Guo, G.-L. Cao
A review on bioconversion of lignocellulosic biomass to H2: key challenges and new insights Bioresour Technol, 215 (2016), pp. 92-99

[6] G. Kumar, P. Sivagurunathan, B. Sen, A. Mudhoo, G. Davila-Vazquez, G. Wang, S.-H. Kim Research and development perspectives of lignocellulose-based biohydrogen production Int Biodeterior Biodegrad, 119 (2017), pp. 225-238

[7] Kumar, G., Shobana, S., Nagarajan, D., Lee, D. J., Lee, K. S., Lin, C. Y., ... & Chang, J. S. (2018). Biomass based hydrogen production by dark fermentation—recent trends and opportunities for greener processes. Current opinion in biotechnology, 50, 136-145.

[8] Waste generated and treated in Europe 92-894-6355-4, European Communities (2003) http://europa.eu.int

[9] B. Dubois Les déchets en chiffres French Environment and Energy Management Agency (2006) http://www2.ademe.fr

[10] Guo, X. M., Trably, E., Latrille, E., Carrere, H., & Steyer, J. P. (2010). Hydrogen production from agricultural waste by dark fermentation: a review. International journal of hydrogen energy, 35(19), 10660-10673.

[11] Y. Fan, Y. Zhang, S. Zhang, H. Hou, B. Ren Efficient conversion of wheat straw wastes into biohydrogen gas by cow dung compost Bioresour Technol, 97 (3) (2006), pp. 500-505

[12] D. Li, H. Chen Biological hydrogen production from steam-exploded straw by simultaneous saccharification and fermentation Int J Hydrogen Energy, 32 (12) (2007), pp. 1742-1748

[13] A. Karlsson, L. Vallin, J. Ejlertsson Effects of temperature, hydraulic retention time and hydrogen extraction rate on hydrogen production from the fermentation of food industry residues and manure Int J Hydrogen Energy, 33 (3) (2008), pp. 953-962

[14] M.L. Zhang, Y. Fan, Y. Xing, C. Pan, G. Zhang, J. Lay Enhanced biohydrogen production from cornstalk wastes with acidification pretreatment by mixed anaerobic cultures Int J Hydrogen Energy, 31 (4) (2007), pp. 250-254

[15] T. Amon, B. Amon, V. Kryvoruchko, W. Zollitsch, K. Mayer, L. Gruber Biogas production from maize and dairy cattle manure-influence of biomass composition on the methane yield Agric Ecosyst Environ, 118 (1–4) (2007), pp. 173-182

[16] G.D. Saratale, S. Chen, Y.C. Lo, R. Saratale, J. Chang Outlook of biohydrogen production from lignocellulosic feedstock using dark fermentaion-a review J Sci Ind Res, 67 (2008), pp. 962-979

[17] P. Buffiere, D. Losiel, N. Bernet, J. Delgenes Towards new indicators for the prediction of solid waste anaerobic digestion properties Water Sci Technol, 53 (8) (2006), pp. 233-241

[18] Bundhoo, Z. M. (2019). Potential of bio-hydrogen production from dark fermentation of crop residues: a review. International Journal of Hydrogen Energy, 44(32), 17346-17362.

[19] Azwar, M. Y., Hussain, M. A., & Abdul-Wahab, A. K. (2014). Development of biohydrogen production by photobiological, fermentation and electrochemical processes: a review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 31, 158-173.

Treatment of Cosmetic Wastewater by Fenton Oxidation and Process Limitations

A. Elif ATEŞ*[1,a]

[1] *Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Departmant of Environmental Engineering, 34320, Istanbu*

Abstract

Cosmetics industry wastewater is one of the difficult industrial wastewaters to treat due to its high content of pollutants. COD, color and oil are important parameters that make disposal difficult in this industrial wastewater. To remove the dyes used depending on the production processes, advanced oxidation processes are generally used in the literature. Fenton oxidation is one of the common processes used to treat wastewater containing dyes. However, Fenton oxidation provides lower efficiency in cosmetic wastewater treatment with high oil content compared to other wastewater containing dyes. Fenton oxidation treatment efficiency varies depending on Fe^{2+} and H_2O_2 concentrations but is also affected by pH change. COD removal efficiencies reached the highest treatment efficiency of 56% with the increase in Fe concentration. Although the pH working range of Fenton oxidation is between 3-4 in the literature, the highest efficiency in cosmetic wastewater treatment was obtained when the pH was between 2-2.5. The reason for this was seen as the reduction of the efficiency of the reaction of the added Fe^{2+} with hydrogen peroxide due to the high oil content. In addition, although the optimum value for the wastewater temperature in the application of Fenton oxidation in the literature is 40-45 ºC, treatment efficiency was quite low in trials below 50 ºC. The highest treatment efficiency was obtained at 53 °C and pH 2.3. In the treatment of cosmetic industry wastewater by Fenton oxidation, the optimum conditions stated in the literature were not suitable.

Keywords: Cosmetic Wastewater, Fenton Oxidation, Process Limitations

Kozmetik Atık Suyun Fenton Oksidasyonu ile Arıtılması ve Proses Sınırlamaları

Öz

Kozmetik endüstrisi atıksuları, yüksek kirletici içeriği nedeniyle arıtılması zor endüstriyel atık sulardan biridir. KOİ, renk ve yağ bu endüstriyel atıksuda bertarafı zorlaştıran önemli parametrelerdir. Üretim proseslerine bağlı olarak kullanılan boyaların uzaklaştırılması için literatürde genellikle ileri oksidasyon prosesleri kullanılmaktadır. Fenton oksidasyonu, boya içeren atık suların arıtılmasında kullanılan yaygın proseslerden biridir. Ancak Fenton oksidasyonu, boya içeren diğer atık sulara kıyasla yüksek yağ içeriği ile kozmetik atıksu arıtımında daha düşük verim sağlar. Fenton oksidasyon arıtma verimi Fe^{2+} ve H_2O_2 konsantrasyonlarına bağlı olarak değişir ancak pH değişiminden de etkilenir. KOİ giderim verimleri, Fenton oksidasyonunda Fe konsantrasyonundaki artışla %56'lik en yüksek arıtma verimine ulaştı. Fenton oksidasyonunun pH çalışma aralığı literatürde 3-4 arasında olmasına rağmen kozmetik atıksu arıtımında en yüksek verim pH 2-2,5 arasında olduğunda elde edilmiştir. Bunun nedeni, eklenen Fe^{2+} 'nın hidrojen peroksit ile reaksiyonunun veriminin yüksek yağ içeriğinden dolayı azalması olarak görülmüştür. Ayrıca literatürde Fenton oksidasyonu uygulamasında atıksu sıcaklığı için optimum değer 40-45 ºC olmasına rağmen, 50 ºC'nin altındaki denemelerde arıtma verimi oldukça düşük olmuştur. En yüksek arıtma verimi 53 °C'de ve pH 2.3'te elde edilmiştir. Kozmetik endüstrisi atık sularının Fenton oksidasyonu ile arıtılmasında literatürde belirtilen optimum koşullar uygun değildir.

Anahtar Kelimeler: Kozmetik Atıksuyu, Fenton Oksidasyonu, Proses Sınırlamaları

1. Introduction

Although the cosmetics industry has variable wastewater characterization due to its wide production variety, high COD and color content are the distinctive characteristics of wastewater [1]. Wastewater sources generally originate from the production and coloring processes of pharmaceuticals, personal care products, make-up materials. Most of the pollutants in wastewater are organic compounds and the degree of wastewater pollution varies depending on the type and amount of the compound [2]. However, COD, color and oil concentrations differ greatly according to the production type of the industry. The fact that cosmetics industry wastewater has high COD and low BOD concentration makes biological treatment of wastewater difficult [3]. For this reason, the BOD/COD ratio is increased by coagulation or advanced oxidation beforehand. In addition, the use of synthetic chemicals causes the presence of compounds that are difficult to decompose in wastewater, making it necessary to use advanced oxidation processes for treatment [4].
Within the scope of the study, raw cosmetic industry wastewater was taken from the industry according to the outputs of the production processes. The process waters used belong to the hand-gel, cream and soap processes. Treatment efficiencies were calculated by measuring the COD and color removal efficiencies for wastewater. Fenton and Photo-Fenton oxidation was done without dilution of wastewater.

2. Materials and Methods

The cosmetics industry wastewater concentration was brought to the laboratory, characterization analyzes were made and stored at +4 ^{o}C. The temperature value of the wastewater is given by the cosmetics industry from which the wastewater is taken.

Analyzer parameter	**Average value**	**Analyzer parameter**	**Average value**
Oils and fats (mg/L)	20-25	Biodegradability (BOD_5/COD)	0,36
Conductivity (µS/cm)	1550	pH	7,2
BOD_5 (mg/L)	1200	TSS (mg/L)	50
COD (mg/L)	3400	Temperature (^{o}C)	40

The pH of the wastewater was adjusted to about 3 using 1 Molar H_2SO_4. After the optimization studies, it was determined that the optimum pH value was 2.3. The wastewater was used undiluted and heated up to 45 °C, which is given as optimum for Fenton in the literature. However, in the temperature trials, it was determined that the most suitable temperature value was 53-55^{o}C, and the study continued with this value. 50 mM $FeSO_4$ solution was prepared and Fe^{2+} concentrations were adjusted with this solution. H_2O_2, the brand of which is Merck, was used as concentrated. Preliminary studies were carried out to determine the optimum $FeSO_4$ and H_2O_2 concentrations. As a result of the studies, the concentrations given in the table below were used. After the chemical dosing, mixing was applied at 500 rpm for the first 30 minutes and at 50 rpm for the last 30 minutes at constant temperature (53^{o}C). After a reaction time of 1 hour, it was allowed to settle for 1 hour.

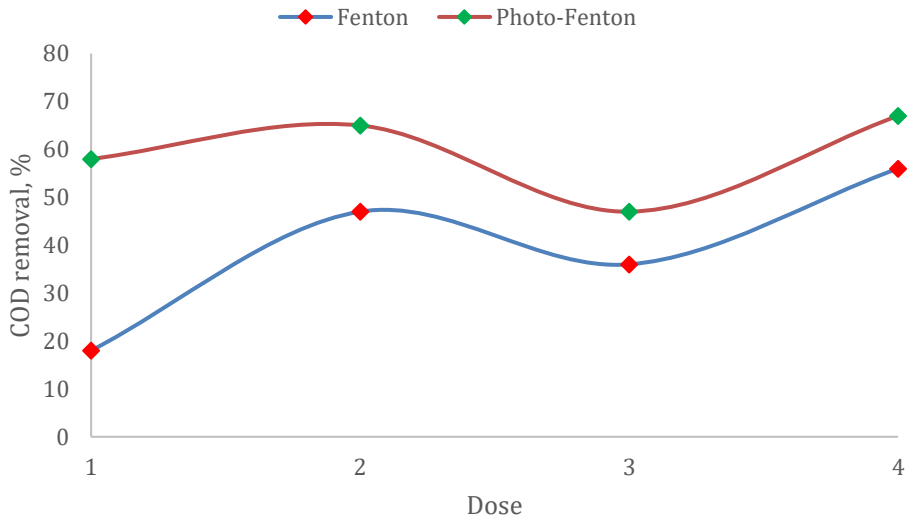
Dose	**$FeSO_4$ (mg/L)**	**H_2O_2 (mg/L)**
1	750	1000
2	750	2000

3	500	1500
4	1200	2000

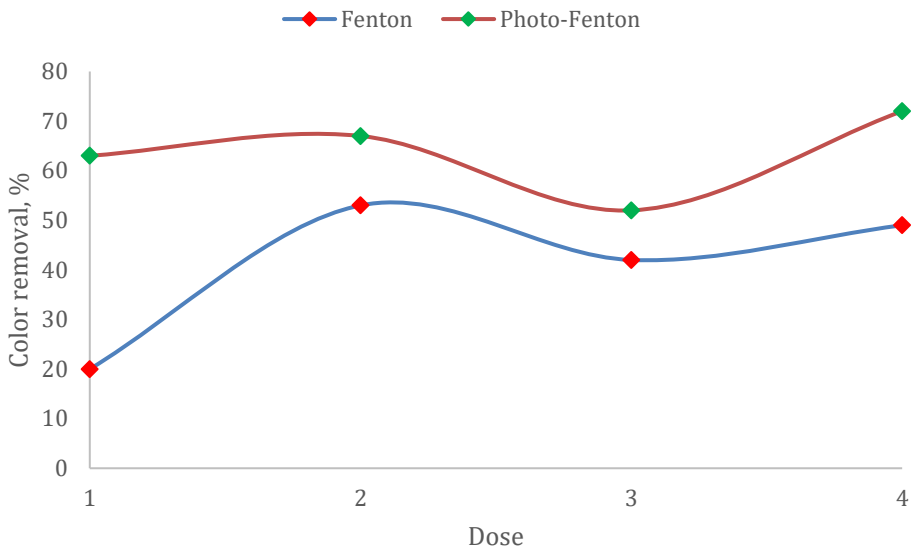
The same procedure was used for Photo-Fenton Oxidation as for Fenton oxidation. After adding $FeSO_4$ and H_2O_2, UV lamp was turned on and mixing was applied. The lamp remained on during the mixing period of 1 hour. At the end of 1 hour, the lamp and mixing process were stopped and it was waited for 1 hour for precipitation. After precipitation, the upper phase was removed and the pH was adjusted to approximately 7.5 using 1 N NaOH solution, and COD and color analyzes were made. Closed reflux method was used in COD analysis and spectrophotometric method was used in color analysis.

3. Results

When the COD removal efficiencies were examined, it was seen that the lowest removal efficiency was obtained after the Photo-Fenton application, at dose 3, which was the lowest $FeSO_4$ application. In Fenton application, the lowest treatment efficiency was obtained with dose1 using 750 mg/L FeSO4-1000 mg/L H_2O_2 concentration. The highest COD removal efficiencies were obtained with dose 4 application in both Fenton and Photo-Fenton oxidation.



When the graph comparing the color removal efficiencies is examined, it is seen that the treatment efficiencies according to the doses are similar to the COD removal efficiencies. The lowest treatment efficiency was obtained with dose 1 in Fenton oxidation, while it was obtained with dose 3 in Photofenton oxidation. The highest color removal efficiencies were obtained in Fenton oxidation with dose 2, while in photofenton oxidation with dose.



4. Conclusions

Treatment of cosmetic industry wastewater by Fenton and Photo-Fenton oxidation was studied. In the literature, it has been stated that the pH value should be between 3-4 for Fenton oxidation. However, since purification could not be achieved in the study with pH 3, attempts were made for the optimum pH value. In addition, there are studies in the literature on the treatment of cosmetic industry wastewater at different temperatures between 25-85 ºC by Fenton oxidation. In the study, the optimum temperature value was found to be 53 ºC. The change of processes according to the product used in the cosmetics industry changes the wastewater characterization. The wastewater used includes the wastewater of the hand-gel, soap and cream production processes. In order to investigate the reason why the pH and temperature values are different from the literature, Fenton oxidation was performed on each of the process wastewaters and it was determined that the soap production process wastewater showed resistance. In order to solve this problem, analyzes were made by changing the temperature and pH values.

As a result of photo-Fenton oxidation, higher yields were obtained in both color and COD removal compared to Fenton oxidation. UV irradiation accelerated the reaction in photo-Fenton oxidation. UV irradiation accelerated the reaction in photo-Fenton oxidation. In addition, it has increased the production of OH radical and allows the use of reagents for Fe^{2+} at lower doses, Equation 1.

$$[Fe(OH)]^{2+} + h\nu \rightarrow Fe^{2+} + OH^{\cdot} \qquad (1)$$

While more chemicals were required for neutralization of wastewater after Photo-Fenton oxidation, 5% COD removal was also achieved after neutralization. In photo-Fenton oxidation, the change in treatment efficiency was insignificant in the increase of H_2O_2 concentration, while the increase in H_2O_2 concentration in Fenton oxidation increased the COD and color removal efficiencies.

In the treatment of cosmetics industry wastewater by Photo-Fenton oxidation, the wastewater resulting from the cream production process does not pass UV radiation, thus reducing the treatment efficiency. In pH 2.3 studies, it has been found that the wastewater of the cream production process passes UV better since it does not cause oil accumulation on the surface.

References

[1] Ebrahiem, E. E., Al-Maghrabi, M. N., & Mobarki, A. R. (2017). Removal of organic pollutants from industrial wastewater by applying photo-Fenton oxidation technology. Arabian Journal of Chemistry, 10, S1674-S1679.

[2] Pereira, L. M. G., de Oliveira Ferreira, M. E., de Brito, N. N., & Ostroski, I. C. (2020). Cosmetic wastewater primary treatment by fenton process and final polishing adsorption. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental, 24, 13.

[3] Bautista, P., Casas, J. A., Zazo, J. A., Rodriguez, J. J., & Mohedano, A. F. (2014). Comparison of Fenton and Fenton-like oxidation for the treatment of cosmetic wastewater. Water science and technology, 70(3), 472-478.

[4] de Andrade, P. M., Dufrayer, C. R., Ionashiro, E. Y., & de Brito, N. N. (2020). The use of metallurgical waste for heterogeneous photo Fenton-Like treatment of cosmetic effluent. Journal of Environmental Chemical Engineering, 8(5), 104148.

Türkiye' de Kurulan Bal Ormanlarının Bugünü, Geleceği ve Kırsal Kalkınmaya Etkisi

Engin GÜVENDİ*[1,a], Murat Han ERTUĞRUL[1,b], Nuray KAHYAOĞLU[1,c]
[1]*Gümüşhane Üniversitesi, Kürtün Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, 29810, Gümüşhane*

Öz
Arıcılık önemli bir yetiştiricilik faaliyeti olup, arı ürünleri dengeli ve sağlıklı insan beslenmesi açısından değerli bir gıda maddesi grubudur. Bunun yanı sıra arılar bitkilerde sağladığı tozlaşma ile de doğal denge ve tarımsal üretimde hayati öneme sahip bulunmaktadırlar. Arıcılık gelişmekte olan ülkelerde kırsal nüfusa istihdam, gelir ve sağlıklı beslenme olanağı sağlamaktadır. Tüm bu özellikleriyle arıcılık tarımsal faaliyetler içinde ayrıcalıklı bir konumdadır. Türkiye dünya bal üretiminde önemli bir yere sahiptir ve dünya bal üretiminde Çin'den sonra ikinci sırada yer almaktadır. Günümüzde aşırı kentleşme ile azalan yeşil alanlar arasındaki dengenin kurulması ve doğru yeşil alan planlaması önemli çevresel sorunlardan birisidir. Kentlerin potansiyellerinin korunup planlanabilmesi için sürdürülebilir yaklaşımlar gerçekleştirilmektedir. Ormanlar ise bu planlamanın en önemli parçasıdır. "Bal ormanları" ise, ekonomik, ekolojik ve aynı zamanda estetik değeri olan ormanlar arasındadır. Bu çalışmada, ülkemiz arıcılığının desteklenmesi, organik bal ve arı ürünleri üretiminin yaygınlaştırılması ve gıda güvenliğinin sağlanması amacıyla 2013 yılında Bal Ormanı Eylem Planı hayata geçirilen Bal Ormanları hakkında değerlendirmeler yapılmıştır. Bu bilgiler TÜİK verilerinden, OGM tarafından yayımlanan 2019 yılı istatistik verilerinden ve Bal Ormanı Eylem Planları' ndan elde edilmiştir. Bu verilere göre en çok bal ormanı kurulan il Mersin (30 adet) olurken, diğer iller sırasıyla Antalya (14 adet), İzmir (14 adet), Adana (12 adet) ve Kütahya (12 adet) dır. Yapılan çalışmalar neticesinde 67.161 hektar ormanlık alanda 502 adet bal ormanı kurularak ülke ekonomisine yıllık 200 milyon TL katkı sağlanmıştır. 2021 yılı içeresinde 1.680 hektar alanda 56 adet bal ormanı kurulması hedeflenmektedir. Tesis edilen Bal Ormanları' na orman ekosisteminin gereksinimleri ve biyolojik çeşitliliğe katkı sağlayacak, arıcılık faaliyetlerini ve bal üretimini destekleyecek nektarlı türlerin (arı otu, lavanta, püren, kekik vb. gibi) ekim ve dikimi yapılmaktadır. Ülkemizde ticarete konu olan bal üretimi yıllık ortalama 110 bin ton civarındadır, bunun 80 bin ton çiçek balı ve 30 bin tonu basralı Kızılçam ormanlarından üretilen çam balıdır. Türkiye Arı Yetiştiricileri Merkez Birliği verilerine 150 bin hanenin katıldığı ülkemiz bal üretiminin ham piyasa değeri 450 milyon dolar civarındadır.

Anahtar kelimeler: Bal, Bal Ormanı, Kırsal Kalkınma, Doğal Denge, Sürdürülebilir Kaynak

1. Giriş

Arıcılık günümüzde gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde önem verilen bir hayvancılık dalıdır. Arıcılık faaliyeti, toprağa ihtiyaç duyulmayan, az sermaye ve düşük maliyetle üretim yapılabilen kısa süre içerisinde gelir getiren, tarımsal bir uğraştır (Parkalay vd, 2008).

Bal arılar tarafından üretilen doğal bir gıda olup, diğer arıcılık ürünleri olan propolis, arısütü, arı zehri, balmumu, polen gibi diğer arı ürünlerine göre temin edilebilirliği ve tüketimi daha yüksektir (Karadal, F., Yıldırım, Y., 2012).

Bal, TS 3036 Bal Standardı' na göre; "Bitkilerin çiçeklerinde ya da diğer canlı kısımlarında bulunan nektar bezlerinden salgılanan nektarın ve bitki üzerinde yaşayan bazı böceklerin, bitkilerin canlı kısımlarından yararlanarak salgıladığı tali maddelerin, bal arıları (*Apis mellifera*) tarafından toplanması, vücutlarında bileşimlerinin değiştirilip petek gözlerine depo edilmesi ve buralarda olgunlaşması sonucunda meydana gelen tatlı bir ürün" olarak tanımlanmaktadır (Anonim, 2010).

Arıların bitkisel kaynaklardan topladıkları nektarları metabolize ederek bala dönüştürmeleri biyokimyasal bir proses olup, kovan içerisinde doğal bir ortamda gerçekleştirilmektedir. Bir kovanda yaklaşık olarak 10 ila 40 bin arı bulunmakta ve her bir arı günde 10-15 kez kovandan dışarı çıkarak, her çıkışında 80-100 çiçekten nektar ve polen toplamaktadır [3]. Arının nektar topladığı kaynağa göre bal; çiçek balı ve salgı balı olmak üzere başlıca 2 ana gruba ayrılmaktadır. Çiçek balının kaynağı bitki çiçeklerinin nektarı olup başlıca çeşitleri; ıhlamur, yonca, turunçgil, pamuk, kekik ve akasya ballarıdır. Salgı balının kaynağını ise bitkilerin veya bitki üzerinde yaşayan böceklerin salgısı oluşturmaktadır. Bu grubun tipik örnekleri ise; çam, meşe, köknar ve yaprak ballarıdır (Nisbet, C., vd. 2013, Karabagias, I.K., vd. 2014).

Arıcılık faaliyeti ve orman arasında oldukça sıkı bir ilişki vardır. Amacı, bal ve bal mumu üretmek olan ekonomik faaliyetleri arıcılık olarak adlandırılır (Doğanay ve Çoşkun, 2012). Arıcılık faaliyeti için orman alanları oldukça uygun alanlardır. Arılar; biyoçeşitliliğin korunması, erozyonun önlenmesi, tozlaşmanın sağlanması ve yaban hayatın devamlılığı için son derece büyük bir öneme sahiptir. Ekonomik açıdan da düşünüldüğünde oldukça kârlı bir faaliyettir. Arıcılıkta teknik ve biyolojik bilgilerin edinilmesi önemli olmakla beraber arıcılık coğrafi ortamla da yakından ilişkilidir. Bir sahanın iklim, bitki örtüsü, topoğrafya ve hidrografya özellikleri arıcılıkla sıkı sıkıya bağlıdır (Koday, 2005). Orman alanları bu özellikler bakımından oldukça uygun alanlardır. Bu bağlamda bal ormanlarının oluşturulması çok yerinde bir karar olmuştur.

Orman kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde, korunması ve kullanılması ilkesi ile uluslararası sözleşmeler dâhilinde çağdaş bir anlayışla halkın hizmetine sunulması için, verimsiz ormanların bir an önce iyileştirerek toplumun istifadesine sunulması zaruri öneme sahiptir. Bu hizmetlerden biriside bal ormanlarının kurulmasıdır. Bu bağlamda, Orman Genel Müdürlüğü gerek mevcut ormanların iyileştirme yoluyla, gerekse yeni bal ormanı tesis etme yoluyla bunu sağlamaya çalışmıştır (OGM, 2019).

Bal ormanları, sürdürülebilirlik açısından ormanları korumayı temel amaç edinirken, arıcılık faaliyetinde gezici arıcılığın çeşitli dezavantajlarından korunmayı da amaçlamıştır. Çeşitli iş kazaları ve meslek hastalıkları açısından olumsuz sonucalar doğura bilen gezici arıcılık bal ormanlarının kurulmasını teşvik etmiştir (Kaymaz ve Albayrak, 2017). Arıcılık faaliyetinin gerçekleştirileceği bal ormanları bölge halkına ekonomik açıdan da fayda sağlayacağı ortadadır (Koday ve Karadağ, 2019).

Var olan ormanlar hâlihazır durumları değiştirilmeksizin kullanılmak ilk hedef olmakla birlikte, gerekli yerlerde bölge ile uyumlu ek ağaçlandırma gibi bazı müdahalelerle bal ormanı alanları oluşturulmak istenmiştir. Bunun için yapılacak düzenlemelerde uygun ağaçlandırma yapmak için, gerek iklim konusunda olsun gerekse bölgede bulunan bitki örtüsü ile uyumlu bir çalışma gerçekleştirilmesi son derece önemdir. Doğaya rağmen değil doğayla uyumlu sürdürülen her faaliyetin maddi ve manevi dönütlerinin her zaman güzel olacağı unutulmamalıdır.

2. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi

Bu çalışmada, ülke genelinde sürdürüle gelen kârlı bir ekonomik faaliyet olan arıcılığın geliştirilmesi kapsamında oluşturulan bal ormanlarının, geçmişteki, günümüzdeki ve gelecekteki durumunun coğrafi bakış açısı ile incelenerek bölgesel dağılımının ortaya konularak öneminin vurgulanması amaçlanmıştır. Türkiye arıcılık faaliyetleri açısından eşsiz bir doğal ortama sahiptir. Mevcut potansiyeli en iyi şekilde kullanabilmek ve aynı zamanda doğayla dost bir şekilde bu faaliyeti sürdürmek için güzel bir fırsat olan bal ormanları bu bakımından çalışma konusu olarak belirlenmemiştir.

Çalışmaya literatür taraması yapılarak başlanmıştır. Bu sırada bal ormanı kavramının, arıcılık için belirlenen ormanı alanı nitelemek amacı ile oluşturulduğu görülmüştür. Orman Genel Müdürlüğü'nün elektronik ortamda sunmuş olduğu raporlar dâhilinde elde edilen istatistik veriler tablolar halinde bölgelerin 2013-2019 yılları arası mevcut durumu ortaya konulmaya çalışmıştır (OGM, 2019). Türkiye'nin genel durumunu 2019 yılsonu itibari ile sahip olunan bal ormanı alan dağılış haritası ile ortaya konuşmuştur. Periyodik değişmeler diğer bir deyişle 2013-2019 yılları arası gelişmeler hem alan hem sayı olarak bal ormanlarının grafiklerle daha anlaşılır hale getirilmiştir. Keza aynı şekilde bölgeler arası

kıyaslamanın doğru yapılabilmesi açısından bölgelerin paylarına düşen bal ormanı alanları pasta grafikle gösterilmiştir.

OGM 2020 yılı idari faaliyet raporuna göre 2020 yılında 6.515 hektar alanda 68 adet bal ormanı tesis edilmiştir. Ancak bu verilerin illere göre dağılımı belirtilmediği için toplam sayı olarak değerlendirmeleri alınmış fakat bölgesel bazda yapılan değerlendirmelere eklenmemiştir.

3. Bal Ormanlarının Kurulma Kriterleri

Potansiyel bal ormanı yerinin ve alanının seçilmesinde çeşitli ölçütler dikkate alınmıştır. Bu ölçütler Bal Ormanı Eylem Planında (2018-2023) güncellenerek belirtilmiştir (OGM, 2018). Bu kriterler sırasıyla;
* Bal ormanı tanımına uygun saha olması,
* Orman rejimi içerisinde olması veya bu amaçla tahsis edilmesi,
* Bölgede bal ormanı talebinin veya ihtiyacının olması,
* Bal ormanlarının yerinin tespitinde arıcı birlik temsilcilerinin görüşlerinin alınarak, arıcılığın yoğun olduğu bölgeler ile talebin fazla olduğu yerlerin seçilmesi,
* Arıcılık açsından nemli bitki türleri ile salgı balı üretim potansiyeli bulunan alanların bal ormanı kurulması amacıyla arıcı birlikleri ve diğer kişi veya kurumlar tarafından teklif edilmesi,
* Yakınında sürekli olarak temiz su sağlayan bir kaynak bulunması
* Arıcılığın yoğun olduğu bölgeler ile talebin fazla olduğu yerlerin seçilmesi.
* Bal ormanlarının kurulmasında öncelikli gaye bal üretimi ve bu sayede arıcılara ve yöre halkına gelir oluşturması,
* Bal ormanı oluşturulacak yer seçilirken, arıcılık için elverişli olan salgı, nektar ve polenli bitkilerin yoğun olduğu alanlara öncelik verilmesi,
* Yerleşim yerlerinden uzakta, insan ve hayvan hareketlerinden uzakta olması,
* En az rüzgar tutan yer olması,
* Kara yollarından, ilaçlama yapılan tarım arazilerinden ve maden sahalarından uzakta olması kriterleri aranır.
* Bal ormanı olarak belirlenen alan minumum 30 ha olmalıdır.

Ölçütler büyük ölçüde dikkate alınarak oluşturulan bal ormanları son derece faydalı sonuçlar doğurmuştur ve doğuracaktır.

4. Türkiye'deki Bal Ormanlarının Gelişimi ve Bölgesel Dağılımı (2007-2018)

Bal ormanlarının kurulum gayelerinin başında ülkemizin arıcılık için uygun olan mevcut potansiyelini sürdürülebilir şekilde kullanmak gelmektedir. Bu sayede bal ormanları kuruldukları bölgede ekonomik açıdan kalkınmayı sağlarken, sürdürülebilir bir ormancılık faaliyetine de imkân sunmuştur. Ekonomik açıdan olduğu gibi ekolojik açıdan da son derece öneme sahip olan arılar, gerek tozlaşmada aktif rol oynuyor olması gerekse erozyon ve toprak kaybının azaltması bu projenin önemini açıkça ortaya koymaktadır.

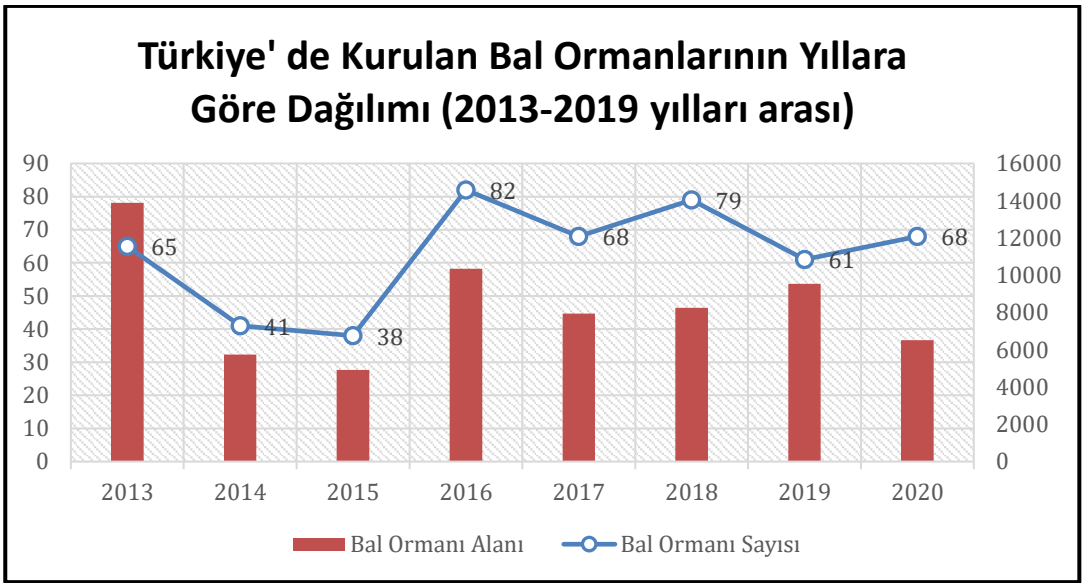
Yürütülmekte olan bal ormanı projesi yukarıda belirtildiği gibi ülkemiz için oldukça önemlidir. Bu sebeple ele alınan bu çalışma on iki yıllık süreç içinde meydana gelen gelişmeleri ortaya koymak gayesiyle ele alınmıştır. Pozitif yönde gerçekleşen bu gelişmenin ülkemiz için faydalı olduğu aşikârdır. Çalışmada öncelikle yıllık periyotta meydana gelen gelişmeler ile Türkiye toplamı ele alınmıştır. Daha sonra çalışmanın kapsadığı yıllar itibariyle bölgesel dağılımı ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

Tablo 1. Bal Ormanlarının Yıllara Göre Adedi ve Alanı (2007-2018).

Yıllar	Adet	Yüzde Oranı (%)	Alan (ha.)	Yüzde Oranı (%)
2013	65	13	13.895,90	21

2014	41	8	5.749,60	9
2015	38	8	4.622,17	7
2016	82	16	10.344,45	15
2017	68	13	7.937,11	12
2018	79	16	8.253,08	12
2019	61	12	9.543,83	14
2020	68	14	6.515,00	10
Toplam	502	100	67.161,14	100

Orman Genel Müdürlüğü' nün yayınlamış olduğu 2020 İdari Faaliyet Raporu' na göre 2020 yılı sonu itibariyle kurulan bal ormanı sayısı 502 adet olmak üzere toplam alan olarak ta 67.161,14 ha olmuştur. Her yıl adet ve alanda artış yaşanmıştır (Tablo 1; Şekil 1).



Şekil 1. Türkiye' de Kurulan Bal Ormanlarının Yıllara Göre Adedi ve Alanı (2013-2020).

Ülkemizdeki coğrafi bölgeleri ölçeğinde incelerek 2013-2019 yılları arasında kurulan bal ormanlarının dağılımı hakkında daha sağlıklı bilgiler elde edileceği düşünülmüştür. Bu değerlendirme açısından elde edilen bilgiler Tablo 2 ve Şekil 2' de verilmiştir.

Tablo 2. Bal Ormanlarının Bölgelere Göre Dağılımı Adedi ve Alanı (2013-2019).

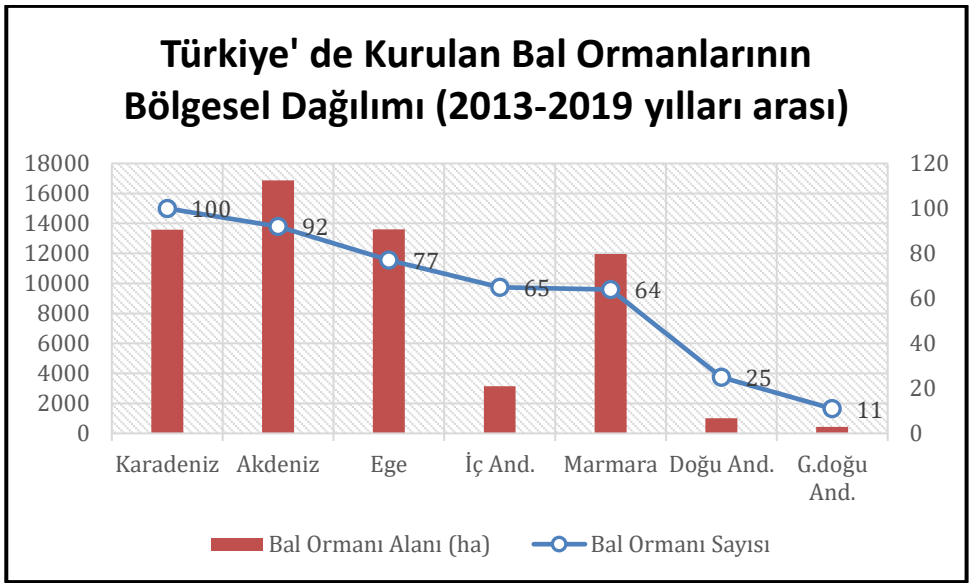
Bölge Adı	**Bal Orman Sayısı (Adet)**	**Yüzde Oranı (%)**	**Bal Ormanı Alanı (ha)**	**Yüzde Oranı (%)**
Karadeniz	100	23	13.593,93	22
Akdeniz	92	21	16.872,99	28
Ege	77	18	13.607,36	22

İç Anadolu	65	15	3.141,73	5
Marmara	64	15	11.971,45	20
Doğu Anadolu	25	6	1.018,65	2
Güneydoğu Anadolu	11	2	440,03	1
Toplam	434	100	60.646,14	100

Bu doğrultuda en fazla bal ormanına sahip olan Karadeniz Bölgesi ele alındığında yedi yıllık süreç içerisinde toplam 100 adet bal ormanı kurulmuştur. Ayrıca kurulan bal ormanı alanı ise 13.593,93 hektar olarak kayıtlara geçmiştir. Karadeniz Bölgesi için bu durum şaşırtıcı değildir. Bölge arıcılık potansiyeli bakımından incelendiğinde, tarım girdi açısından oldukça önemli bir yere sahip olduğu açıktır. Aynı zamanda ekolojik tarım için elverişli kaynaklara sahip olması bakımından sürdürülebilir uygulama örneği olan bal ormanları projesi içinde oldukça davetkar olduğu açıktır.

Bölge sıralamasında ikinci sırada yer alan Akdeniz Bölgesi incelendiğinde 2019 yılı sonunda bal ormanı sayısı 92 adete ve bal ormanları alanı ise 16.872,99 ha ulaşmıştır. Bununla birlikte Türkiye'de en fazla bal ormanına sahip il bu bölgede bulunmaktadır. Mersin ili 30 adet bal ormanı ülkemizde birinci sırada yer almaktadır.

Üçüncü olarak ülke sıralamasın da yerini alan Ege Bölgesi, 2019 yılı sonu itibariyle toplam 77 adet bal ormanı ve 13.607,36 hektar bal ormanı alanına sahiptir.



Şekil 2. Türkiye' de Kurulan Bal Ormanlarının Bölgelere Göre Dağılımı (2013-2019).

İç Anadolu Bölgesi 3.141,73 ha toplam alan ile 65 adet bal ormanına sahiptir. Bu bölgede daha çok çiçek balı üretimi yapılıyor olsa da hemen hemen her ilde bal ormanları kurulmuş olması bozuk ormanların rehabilitasyonu için önemli bir faaliyettir.

Bal ormanı adeti bakımından Marmara Bölgesi 64 adet ile ülke sıralamasında beşinci sırada yer almaktadır. Bal ormanlarının kapladığı alan göz önüne alındığında Marmara Bölgesi'nin 11.971,45 ha

alan kapladığı görülmektedir. Marmara Bölgesi ilk bal ormanını bünyesinde barındırıyor olmasıyla önemlidir.

Doğu Anadolu Bölgesi 25 adet bal ormanına sahiptir. Kapladığı alan 1.018,65 ha'dır. Bölgenin büyük bir kısmında normal orman varlığına sahip olmadığı için doğal olarak bal ormanı bulunmamaktadır. Bu bölge kurulan bal ormanlarının çoğu ağaçlandırma çalışmaları ile gerçekleştirilmektedir.

Ülkemizde en az bal ormanına sahip bölge Güneydoğu Anadolu Bölgesi'dir. Bölgede yer alan 11 adet bal ormanı 440,03 ha alan kaplamaktadır. Bölgenin genel coğrafi yapısının bal ormanı kurmaya ve doğal orman alanının az olması gibi etkenlerden dolayı kurulabilen bal ormanı sayısı ve alanı az seviye kalmıştır.

5. Sonuç

Ülkemizin mevcut durumu göz önüne alındığında arıcılık için son derece uygun coğrafi şartlara sahiptir. Gerek iklim gerek bitki örtüsü arıcılık faaliyetlerine uygun bir ortam oluşturmaktadır. Özellikle zengin bitki örtüsü hem bal kalitesinin hem de kovan verimin artmasına yardımcı olur. Ülkemizin birçok çiçekli bitkiye sahip olması arıcılığın gelişmesine katkı sağlamıştır. Ayrıca devlet desteği de arıcılık faaliyetlerini teşvik etmektedir.

Bal ormanı konusuna gelindiğinde, gezici arıcılığın önüne geçerek arıcılığın gerçekleştirildiği bölge halkına ekonomik gelir sağlamak ve bunları yaparken sürdürülebilir bir ormancılık faaliyeti gerçekleştirmek amaçlanmıştır. İllerin bal ormanı varlıkları incelendiğinde sahip olunan toplam bal ormanı sayısı ile bal ormanı alanlarına göre kıyas yapıldığında bir fark söz konusudur. Yıllara göre baktığımızda ise bal ormanlarında hem adet hem de alan olarak bir artış söz konusudur.

Ülkemizin arıcılık faaliyetleri her geçen gün gelişmektedir. Üretim artışları ümit verici şekilde yaşanmaktadır. Ancak mevcut potansiyeli göz önüne alındığında kat etmesi gereken epeyce bir yolunun olduğu da ortadadır. Bu sebeple bal ormanı projelerinin yapılmasının yerinde bir karar olduğu kanısındayız. Sonuçları uzun vadede daha sağlıklı olarak bu kanıyı doğrulayacaktır.

Ülkemiz ormanlarının yaklaşık olarak %50'si bozuk yapıdadır. Bal ormanlarının kurulmasıyla bozuk alanların miktarı azalacaktır. Bitki örtüsünün artmasıyla topraklarımız erozyona karşı korunmuş olacak, arıların yapacağı tozlaşma sayesinde biyolojik çeşitlilik korunmuş olunacaktır. Bal üretimi ile Orman köylümüzün gelir düzeyi artacağından yoksulluktan dolayı ormanlarda oluşan halkın olumsuz baskısı azalacak. Halkın ormanlara karşı bakış açısı olumlu yönde etkilenecek. Bal üretiminin artmasıyla ülke ekonomisine büyük bir katkı sağlanmış olunacaktır.

Kaynaklar

Anonim, (2010). TSE 3036 Bal Standardı. 19 Ocak 2010 Kabul Tarihli Bal Standardı, Ankara.

Doğanay, H., Coşkun, O. (2012). *Tarım Coğrafyası*. Ankara: Pegem Akademi Yayınları.

Karabagias, I.K., Badeka, A.V., Kontakos, S., Karabournioti, S., Kontominas, M.G., (2014). Botanical discrimination of Greek unifloral honeys with physico-chemical and chemometric analyses. *Food Chemistry* 165: 181-190.

Karadal, F., Yıldırım, Y., (2012). Balın kalite nitelikleri, beslenme ve sağlık açısından önemi. *Erciyes Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi* 9(3): 197-209.

Kaymaz, Ç. K., Albayrak, L. (2017). Mevsimlik gezici tarıma bir örnek: Bostancı Köyü (Yusufeli-Artvin). *Turkish Studies,* 12(3), 355-384.

Koday, S. (2005). *Doğu Anadolu Bölgesinde Hayvancılık.* Atatürk Üniversitesi Yay.949 Fen-Edb. Fak. Yay. No. 104, Araştırma Serisi No.74, Erzurum.

Koday, Z , Karadağ, H . (2019). Türkiye'de bal ormanlarının gelişimi ve bölgesel dağılımı (2007 –2018). *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 23 (3) , 1227-1242.

Nisbet, C., Güler, A., Yarım G.F., Cenesiz, S., Ardalı, Y., (2013). Çevre ve flora kaynaklarının arı ürünlerinin mineral madde içerikleri ile ilişkisi. *Turkish Journal of Biochemistry/Türk Biyokimya Dergisi*, 38(4): 494-498.

OGM, (2018). Orman Genel Müdürlüğü Web Sitesi. 21 Nisan 2021 tarihinde https://web.ogm.gov.tr/ekutuphane/Dokumanlar/Bal%20Orman%C4%B1%20Eylem%20Plan%C4%B1%20(2018-2023).pdf adresinden edinilmiştir.

OGM (2019). Orman Genel Müdürlüğü Web Sitesi. https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/resmi-istatistikler

Türkiye'de 1974-2019 Yılları Arasında Kooperatiflere Verilen Kredilere Genel Bir Bakış

Nuray KAHYAOĞLU*[1,a], Murat Han ERTUĞRUL [1,b], Engin GÜVENDİ[1,c]
[1]*Gümüşhane Üniversitesi, Kürtün Meslek Yüksekokulu, Ormancılık Bölümü, 29830, Gümüşhane*

Özet
Kooperatifçilik, ortak bir sonuca ulaşma gayesiyle bir araya gelen insanların oluşturduğu, demokratik olarak kontrol edilen, sermayesine adalet ve haklılık doğrultusunda katkıda bulunan, kar ve zararlara haklılık ve doğruluk ölçüleri içinde katılan özerk bir girişimdir. Modern anlamda 19. yüzyılın ilk yarısında başlayan kooperatifçilik, 19. yüzyılın sonlarına gelindiğinde büyük bir aşama kaydetmiş ve dünyada genel olarak örgütlenmesini tamamlamıştır. Farklılaşan ve artan ihtiyaçlarla birlikte ekonomik gelişmeler karşısında kooperatifler de gelişmiştir. Günümüzde kooperatifler, kentlerde ve kırsal kesimde, eğitim, taşımacılık, inşaat, eczacılık, tarım, ormancılık gibi çok farklı alanlarda faaliyet göstermektedir. Artık kooperatifler kamu ve özel sektörün yanında üçüncü bir sektör olarak görülmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde, kırsal kalkınmanın sağlanması ve demokrasi anlayışının yaygınlaşması için kooperatiflere çok büyük rol düşmektedir. Kooperatifler görev ve sorumluluklarını yerine getirirken desteklenmeye ve teşvik edilmeye ihtiyaç duymaktadırlar. Dolayısıyla, kooperatifleşme sürecinin gelişmesinde devlet maddi ve manevi anlamda etkin rol oynamaktadır. Bu bağlamda söz konusu çalışmada, 1974 yılından günümüze kadar ki ormancılık istatistikleri kullanılarak, kooperatiflerin üretim ve istihdama katkısı olan farklı sektörlerdeki yatırım projelerinin sayısına göre ödenen kredilerle ilgili genel bir değerlendirme yapılmıştır. Araştırma sonucunda, bitki üretimi, hayvancılık, orman ve su ürünlerinin dahil olduğu 150 adet projeye toplamda 54.761.873 TL, madencilik, imalat, gıda, dokuma ve orman ürünleri sanayinin dahil olduğu 450 adet projeye toplamda 773.171.995 TL ve diğer sanayi alanında yer alan kimya sanayinde 4 adet projeye toplamda 42.067.492 TL kredi desteği sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kooperatifçilik, Proje Türlerine Göre Verilen Destekler, Kooperatiflere Ödenen Krediler

1. Giriş

Kooperatifler, uluslararası kalkınmada denenmiş ve test edilmiş bir model olup, tüm dünyadaki insanların geçim kaynakları üzerinde kontrol sahibi olmalarını sağlamaktadır. İnsan merkezli işletme olarak kooperatifler, kuruluşlarının ne yaptığı, nasıl kâr sağladığı ve kârı nasıl kullandığı konusunda eşit söz sahibi olan üyeler tarafından işletilmekte ve yönetilmektedir. Bu nedenle, kooperatiflerin güçlendirilmesi, bireylerin ve yerel toplulukların kendi kalkınmalarının sorumluluğunu üstlenmeleri açısından önemlidir. Bu önem kooperatiflerin küresel düzeyde yeni biçimlerini ortaya çıkarmakta ya da geleneksel yapıda olanların kendilerini yenileme çabası içinde bulmalarına yol açmaktadır (Terrasi, 2018).

Dünyada 2019 yılı itibariyle yaklaşık 3 milyon kooperatif bulunmaktadır. Bu kooperatiflere dünya nüfusunun en az %12'si yani yaklaşık 1 milyar insan üyedir. Küresel olarak ekonomide ve sosyal hayatta rolü giderek artan kooperatifler ekonominin her yerinde; sağlık hizmetlerinden konutlara, çiftliklerden eczanelere, süpermarketlerden spor kulüplerine, bankalardan pastanelere kadar çeşitli alanlarda faaliyet göstermektedirler (Demirtaş ve İğdeli, 2020). Örneğin World Cooperative Monitor'ün 2019 yılı raporuna göre kooperatiflerin faaliyet gösterdiği sektörler; sigorta %39, tarım %31,7, toptan ve perakende ticaret %17,7, bankacılık ve finansal hizmetler %7, sanayi ve kamu hizmetleri %1, sağlık, eğitim ve sosyal bakım %1 olarak sıralanmıştır (Pakdemirli, 2019).

Kooperatifler farklı türlerde olsalar da hepsi aynı uluslararası tanıma uygun şekillenmekte ve aynı kooperatif ilkesini izlemektedirler. Kooperatifin uluslararası düzeyde kabul gören tanımı şu şekildedir: Ortak bir sonuca ulaşma gayesiyle bir araya gelen insanların oluşturduğu, demokratik olarak kontrol edilen, sermayesine adalet ve haklılık doğrultusunda katkıda bulunan, kar ve zararlara haklılık ve doğruluk ölçüleri içinde katılınan özerk bir girişimdir (Sına, 1984).

Kooperatiflerin gelişmiş ülkelerde ve Avrupa ülkelerinde yaygınlaşmasının temel nedenleri arasında yüksek verimlilik, adil gelir dağılımı ve sürdürülebilir ekonomik kalkınma öne çıkmaktadır. Avrupa ülkelerinde tarım üretiminden yüksek verim almak ve çiftçinin çıkarlarını korumak amacıyla kooperatiflere başvurulmaktadır. Kooperatifleşme yoluyla hem çiftçiler arasında işbirliğinin sağlanarak üyelerin güçlendirilmesi hem de ulusal olarak gelir sağlanması amaçlanmaktadır. Bu politikalar çerçevesinde örneğin İspanya'da zeytinyağı üretiminin %80'i, İtalya'da ise peynir üretiminin %90'ı kooperatifler tarafından gerçekleştirilmiştir. Avrupa ülkeleri dışında Kanada, Japonya, Güney Kore, Kuveyt, Bolivya ve ABD gibi farklı ülkelerde öne çıkan bu kooperatifler sadece bölge ekonomilerinde değil, aynı zamanda ülke ekonomilerinde de önemli birer aktördür (Örki, 2016).

Kooperatifleşmenin beklenilenin aksine gelişmiş ülkeler içerisinde oldukça yaygın olduğu görülmektedir. Giderek yaygın hale gelen kooperatifleşme sayesinde hem refahın ülke genelinde daha adil bir şekilde dağılımı sağlanmakta hem de yerel ekonomilere sürdürülebilir bir şekilde katkı yapması sağlanmaktadır (Demirtaş ve İğdeli, 2020).

Türkiye'de kooperatiflerin tarihsel gelişimini Cumhuriyet öncesi ve sonrası olarak değerlendirecek olursak, ilk kooperatiflerin 1800'lü yıllarda Cumhuriyet öncesi dönemde Osmanlı İmparatorluğu'nda ortaya çıktığı görülmektedir. Dolayısıyla ülkemizde ilk kooperatif girişimi 1863 yılında Mithat Paşa tarafından çiftçilerin kredi alanında karşılaştıkları sorunları azaltmak amacıyla kurulan "memleket sandığı" uygulamasıdır.

Cumhuriyet dönemi öncesi kurulan bütün kooperatifler ya devlet eliyle ya da devlet destekli olarak kurulmuştur. Bu durum cumhuriyet sonrası dönemde de devam etmiştir. Bu kapsamda ihracat ürünlerinde örgütlenmenin sağlanması için 1936 yılında Doğu Anadolu, Ege ve Marmara bölgelerinde çeşitli kooperatifler kurulmuştur. Bu kooperatifleşme süreci Karadeniz bölgesinde kurulan kooperatiflerle de devam etmiştir (Pakdemirli, 2019).

Cumhuriyet sonrası dönemde kooperatifleşme sürecinin gelişmesinde devlet etkin rol oynamıştır. 1961 Anayasasının 51. Maddesinde "Devlet, kooperatifçiliğin gelişmesini sağlayacak tedbirleri alır" hükmü yer almıştır. 1982 anayasası da kooperatifçiliğin toplumun kalkınmasındaki rolünü hesaba katarak, kooperatifçiliğin desteklenmesini öngörmüştür. Anayasaların yanında kalkınma planlarında da kooperatifçiliğin desteklenmesi ve teşvik edilmesine ilişkin hususlara yer verilmiştir (Müftüoğlu ve Aydos, 2001).

İyi işlerin teşvik edilmesi ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin geliştirilmesine katkıda bulunan kooperatifler kalkınma sürecinde önemli bir rol oynama potansiyeline sahiptir (Demirtaş ve İğdeli, 2020).

Sürdürülebilir kalkınma hedeflerinde etkin rol oynayan kooperatiflerin sınıflandırılmasında tek bir ölçüt yoktur. Kooperatifler ekonomik faaliyetlerine göre üretim kooperatifleri, tüketim kooperatifleri, kredi kooperatifleri, yapı kooperatifleri ve hizmet kooperatifleri şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflandırma sektör teorisine göre tarım kooperatifleri ve tarım dışı kooperatifleri olmak üzere de farklılaşmaktadır (Öksüz, 1982).

Günümüzde kaynakların kıt olması ve talebin devamlı artmasından dolayı kaynakların sürdürülebilir kullanımı ve dolayısıyla sürdürülebilir bir kalkınma modeli oluşturmak önemlidir. Sürdürülebilir kalkınma; gelecek kuşakların kendi ihtiyaçlarını karşılama hakkını tehlikeye sokmaksızın, bugünkü kuşakların ihtiyaçlarını karşılamaya çalışmaktır şeklinde tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir kalkınmanın temelini ise kırsal kalkınma oluşturmaktadır. Türkiye'de de çeşitli araştırmacılar tarafından toplumun kalkınmasında kırsal kesimde yaşayan orman köylüsüne büyük bir rol düştüğüne ve toplumun

kalkınmasında orman köylerini kalkındırma faaliyetleri ile bölge planlaması çalışmalarının koordineli bir şekilde yürütülmesi gerektiğine değinilmektedir (Günşen, 2006).

Kırsal kalkınmada başarılı olabilmek için özellikle kırsal kalkınma kooperatiflerine büyük bir rol düşmektedir. Keza, Bartın ilinde yapılan bir doktora çalışmasına göre orman köylüleri de yaşam kalitelerini en fazla arttırabilecek kurumlar arasında ilk başta ormancılık kooperatiflerini görmektedir. Türkiye'de İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı'nın (1968–1972) Uygulanacak Politikalar kısmındaki ilkelerin içinde orman köylerinin kalkındırılması için kooperatifleşmenin teşvik edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı'nda da (1979–1983) "orman varlığının değerlendirilmesi, orman ürünlerinin pazarlanması, taşımacılık, orman ürünleri sanayinin kurulması ve geliştirilmesi amacıyla orman köylerince kurulan kooperatiflerin desteklenmesi" ve "orman köylüsünün sosyal refah düzeyini yükseltici faaliyetlere, kırsal yerleşimlerde sürdürülecek etüd-proje çalışmalarıyla devam edilecek; orman işletmeciliğinde ve orman ürünlerinin değerlendirilmesinde orman köylülerince kurulan kooperatiflerin etkinliği arttırılacaktır" ilkelerine yer verilmiştir. 1992 yılında Rio de Janerio'da yapılan Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı sonucunda ortaya çıkan beş temel belgeden birisi olan Orman Prensipleri'nde de kırsal kalkınma kooperatiflerinin ormanla ilgili faaliyetlere katılmasının desteklenmesi gerektiği belirtilmektedir. Hem beş yıllık kalkınma planlarında hem de Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı'nda, ormancılık kooperatiflerinin üzerinde durulması bu kooperatiflerin kırsal kalkınmada önemli bir paydaş olduğunu göstermektedir. Kooperatifçiliğin yedi temel ilkesinden biri olan "topluma karşı sorumlu olma" ilkesinde de kooperatiflerin ortaklarınca onaylanan politikalar aracılığıyla toplumların sürdürülebilir kalkınması için çalışması gerektiğine değinilmektedir (Günşen, 2006).

Türkiye'de 1963 yılında devletçe uygulanan yurt dışına işçi gönderilmesinde kooperatif kuran köylülere öncelik tanınması politikasıyla kırsal kesimde kooperatifçiliğin yaygınlaştırılmasına çalışılmıştır. Bu uygulamayla beraber birçok kooperatif kurulmuş fakat genellikle Almanya'ya işçi göndermek amacıyla kooperatif kurulmasında ve yaygınlaştırılmasında yanlış bir model seçildiği için, bu kooperatiflerin bir kısmı sonradan kapatılmıştır. Kooperatifçilik hareketi tüm dünyada tabandan başlayarak gelişirken, Türkiye'de tam tersi bir yapı izlenmesi, yani halkın isteği yerine devlet teşvikiyle kooperatifçilik hareketinin yaygınlaştırılmaya çalışılmasından kaynaklanarak ülke genelinde kooperatifçilik hareketinin benimsenmemesinden dolayı kooperatifçilik hareketi olumsuz etkilenmiş ve bunun orman köylüsüne yansıması da olumsuz olmuştur (Günşen, 2006).

Türkiye'nin en düşük gelir grubunda bulunan orman köylülerinin kurduğu ormancılık kooperatifleri, kırsal kalkınma kooperatiflerinin %39(*) gibi önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu oranın yüksek olması nitelik açısından yanıltıcı olmamalıdır. Çünkü mevcut ormancılık kooperatiflerinin ortaklarına refah sağlayabilme, girişimciliği ve katılımcılığı teşvik etme, denetim, eğitim, demokratik kooperatifleşme ve sürdürülebilirlik açısından önemli sorunları vardır. Bu sorunların tespit edilemediği ve kalıcı çözümlerin bulunmadığı durumlarda, kooperatiflerin dışarıdan müdahale edilmeden demokratik bir anlayışla yönetilmesi ve başarıya ulaşması beklenmemelidir (Günşen, 2006).

Türkiye'de kırsal kalkınmanın ve dolayısıyla ülke genelindeki kalkınmanın başarı ile sonuçlanması için kırsal kalkınma kooperatiflerinin ve bunları destekleyen özel veya kamu kuruluşlarının sorunlarının bir an önce tespit edilmesi ve bunlara çözüm önerileri getirilmesi gerekmektedir (Günşen, 2006).

Kooperatifçilik orman köylerinin sosyo-ekonomik olarak kalkındırılmasında eskiden beri önemli bir araç olarak kabul görmektedir. Kooperatifçiliğin ülkemizdeki temelleri birçok kaynakta 1863 yılında Mithatpaşa tarafından kurulan *"Menafi ve Memleket Sandıkları"* yardımlaşma kuruluşuna dayandırılmaktadır. Modern kooperatifçilik çalışmalarının başlangıç tarihi ise Cumhuriyet Dönemi'ne rastlamaktadır. Orman köylerindeki ilk kooperatif 1963 yılında Almanya'ya işçi göndermek amacıyla kurulmuştur (Tolunay vd., 2002). Başlangıç olarak hangi tarihi alırsak alalım kooperatifçilik konusunda gerekli deneyimin oluşabilmesi için yeterli olan bir zaman diliminin varlığından söz edebiliriz. Ne var ki, kooperatifçilik konusunda, günümüzde hala çağdaş ve tutarlı politikalar oluşturulamamış ve kooperatifler ekonomik ve toplumsal kalkınmayı gerçekleştirmede sahip oldukları potansiyeli kullanamamışlardır.

Benzer şekilde bazı istisnalar dışında orman köylerini kalkındırma kooperatifleri de köylünün sosyo-ekonomik ve kültürel yönlerden kalkındırılması, köyden kente olan göçün önlenmesi, ormanlar üzerindeki baskısının azaltılması, vb. hususlarda gerek makro gerekse mikro ölçekli etmenler nedeniyle kendilerinden beklenen potansiyel faydaları üretememiş ve kuruluş amaçlarına ulaşamamıştır. Dolayısıyla orman köylerindeki kooperatifçilik çabaları konusunda yapılacak araştırmalara olan ihtiyaç halen devam etmektedir. Bununla birlikte kooperatifçilikle ilgili çabalar ve bunların başarı durumlarının irdelenmesine yönelik yapılacak çalışmalar bölgeden bölgeye, yöreden yöreye ve hatta köyden köye değişiklik gösterebilmektedir. Bu nedenle kooperatifçilik konusunda yapılacak özellikle yerel ölçekli araştırmaların sayısının arttırılarak başarı hikâyelerinin tespiti ve bunların analizi kooperatifçiliğin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır (Alkan ve Demir, 2013). Dolayısıyla çalışmada, 1974-2019 yıllarına ait kooperatiflerin sektörel ve bölgesel verilerinin karşılaştırılması yapılmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Araştırmaya ait veriler, Orman Genel Müdürlüğü tarafından 2019 yılında yayınlanan ormancılık istatistiklerinden elde edilmiştir.

Söz konusu çalışmada, 1974 yılından günümüze kadar ki ormancılık kooperatiflerinin üretim ve istihdama katkısı olan farklı sektörlerdeki yatırım projelerinin sayısına göre ödenen kredilerle ilgili genel bir değerlendirmesi yapılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışma neticesinde; 2019 yılı ormancılık istatistik verilerine göre ülkemiz genelinde 1974-2019 yılları arasında, 150 adet Tarım sektöründe, 450 adet Sanayi sektöründe ve 4 adet diğer sanayi sektöründe olmak üzere toplamda 604 adet proje hazırlanmış ve kooperatiflere 870.001.360 TL kredi ödemesi gerçekleştirilmiştir. Bu bilgilere ilişkin sayısal veriler Tablo 1'de verilmiştir (OGM, 2019).

Tablo 1. Proje türlerine göre desteklenen kooperatiflere ödenen krediler, 1974-2019

Sektörler		Proje sayısı	Kredi miktarı (TL)
Toplam		604	870.001.360
Tarım		150	54.761.873
	Bitki üretimi	34	6.872.179
	Hayvancılık	13	4.645.212
	Orman	95	26.362.487
	Su ürünleri	8	16.881.995
Sanayi		450	773.171.995
	Madencilik sanayi	5	6.217.088
	İmalat sanayi	445	766.954.906
	Gıda sanayi	197	564.002.471
	Dokuma sanayi	82	54.126.531
	Orman ürünleri sanayi	166	148.825.904
Diğer sanayi	Kimya sanayi	4	42.067.492

Tablo 1'i incelediğimizde; tarım sektöründe bitki üretimi alanında gerçekleştirilen 34 adet projenin tümü tarım araç ve gereçleri için desteklenmişken, hayvancılık alanındaki 13 adet projenin 2 adeti süt inekçiliği, 1 adeti süt koyunculuğu, 5 adeti besicilik, 3 adeti arıcılık, 2 adeti ise tavukçuluk için desteklenmiştir. Ormancılık alanındaki 95 adet projenin tümü odun üretimi ve pazarlama için desteklenmiştir. Su ürünleri alanındaki 8 adet projenin tümü alabalık üretimi için gerçekleştirilmiştir. Sanayi sektöründe madencilik

sanayine ait olan taş ve toprağa dayalı sanayi alanında gerçekleştirilen 5 adet projenin 1 adeti lüle taşı üretimi ve pazarlama, 2 adeti kireç-tuğla tesisi, 1 adeti mıcır-briket tesisi, 1 adeti kaolin için desteklenmiştir. Yine sanayi sektöründe imalat sanayine ait olan 445 adet projenin 197 adeti gıda sanayinde gerçekleştirilmiş olup bunun 72 adeti süt değerlendirme tesisi, 27 adeti süt toplama merkezi, 25 adeti zeytin salamura, 1 adeti zeytinyağı ambalajlama, 5 adeti zeytinyağı fabrikası, 11 adeti yem fabrikası ve yem kırma, 3 adeti conserve ve salça üretimi, 6 adeti meyve taşıma, depolama ve pazarlama, 3 adeti çam fıstığı değerlendirme ve pazarlama, 1 adeti leblebi fabrikası, 6 adeti un fabrikası, 28 adeti soğuk hava deposu, 1 adeti maden suyu pazarlama, 1 adeti et entegre tesisi, 3 adeti pekmez üretimi ve bal paketleme, 2 adeti kültür mantarcılığı ve kompost üretimi, 1 adeti üzüm işleme tesisi ve 1 adeti havuç yıkama için desteklenmiştir. Dokuma sanayi alanındaki 82 adet projenin 79 adeti halıcılık, 3 adeti bez ve havlu dokuma için desteklenmiştir. Orman ürünleri sanayi alanındaki 166 projenin 31 adeti kereste fabrikası, 2 adeti el sanatları ve ağaç işleme, 9 adeti hızar atölyesi, 119 adeti yükleme ve nakliyat, 1 adeti kavakçılık, 3 adeti fidan üretimi, 1 adeti biyoyakıt için desteklenmiştir. Diğer sanayi sektöründe kimya sanayi alanında gerçekleştirilen 4 adet projenin tümü defne ve kekik işleme için desteklenmiştir. Proje türlerine göre desteklenen kooperatiflere ödenen kredi miktarlarına baktığımızda; en fazla proje hazırlanan ve dolayısıyla kredi ödenen sektör sanayi olmuştur. Sanayi sektöründe en çok proje hazırlanan ve kredi ödenen sanayi kolu ise imalat sanayi olup bunda en büyük paya gıda sanayi sahip olmuştur. Bunu orman ürünleri sanayi ve ardından dokuma sanayi takip ermektedir (OGM, 2019).

Şöyle ki; 2019 yılı itibariyle proje türlerine göre desteklenen kooperatiflere ödenen kredilere baktığımızda; sadece sanayi alanında 5 adet proje hazırlanmış olup bunun 2 adeti gıda sanayinde 3 adeti ise orman ürünleri sanayinde gerçekleştirilmiştir. Bu 5 adet projeye toplamda 2.883.574 TL kredi ödemesi yapılmıştır. Ayrıca Tarım, Hayvancılık, Orman, Su ürünleri ve diğer sanayi alanında herhangi bir proje çalışması ve kredi ödemesi söz konusu olmamıştır. Ayrıca 2019 yılında illere göre kooperatiflere verilen kredilere baktığımızda ise Manisa, Afyonkarahisar, Kütahya, Bursa ve Bayburt kooperatifleri hazırladıkları birer proje ile kredi almaya hak kazanmıştır.(OGM, 2019).

1974-2019 yılları arasında kooperatiflere verilen kredilerin yıllar itibariyle söz konusu miktarlarına baktığımızda, 101 adet uygulanan alt proje sayısıyla ve 97.613.866 TL kredi miktarı ile en büyük paya sahip olan yıl 1979 iken, 3 adet uygulanan alt proje sayısıyla ve 1.254.351 TL kredi miktarı ile en az paya sahip olan yıl ise 2008 yılı olmuştur. 2016 yılında ise herhangi bir proje uygulanmamış ve kredi verilmemiştir (OGM, 2019).

1974-2019 yılları arasında illere göre kooperatiflere verilen kredilere baktığımızda, sahip oldukları 44 adet kooperatif, uyguladıkları 47 adet proje ve kendilerine verilen 67.264.484 TL kredi ile Bursa ve yine sahip oldukları 41 adet kooperatif, uyguladıkları 47 adet proje ve kendilerine verilen 27.005.920 TL kredi ile Kastamonu ilk sırada yer alan iller olurken, Hatay, Aksaray, Niğde, Nevşehir, Kayseri, Ağrı, Iğdır, Bingöl, Tunceli, Van, Bitlis, Hakkari, Kilis, Şanlıurfa, Diyarbakır, Mardin, Batman, Şırnak, Siirt illeri ise tarım ve ormancılıkla ilgili herhangi bir kooperatife sahip değillerdir (OGM, 2019).

4. Sonuç ve Öneriler

Kooperatifçilik yıllardan beri köylülerin başarabildiği en önde gelen örgütlenme şekli olarak kabul edilmekte ve orman köylerinin kalkındırılmasında önemsenen araçlardan biri olmaktadır. Bununla birlikte mevcut yazına göre devlet politikaları, mevzuat, finansman olanakları, vb. makro etmenlerle birlikte orman köylüsünün sosyo-ekonomik özelliklerine bağlı olarak şekillenen yerel ölçekli etmenler nedeniyle kooperatifçilik hâlihazırda kendisinden beklenen potansiyel faydaları yeterince sağlayabilmiş değildir.

Kooperatifçiliğin gelişmesinde en önemli etmenlerden birisi de eğitim ve insan kaynaklarının geliştirilmesidir. Araştırmaya konu olan kooperatiflerin ve köylerin yöneticilerinin çoğunluğunun eğitimi ilköğretim düzeyindedir. Bununla birlikte yöneticilerin ve köylünün kooperatifçilik, ormancılık ve diğer alanlarda eğitimine yönelik çalışma ve çabalar da yok denecek kadar azdır. Yöneticilerin büyük bir kısmı kooperatifçilik ve diğer konularla ilgili eğitim almak istediklerini belirtmektedir. Devletin ilgili tüm kurumlarıyla birlikte kooperatif birlik ve üst birliklerin de bu alanda inisiyatif almaları ve gerekli hizmeti kooperatiflere sağlamaları gerekmektedir.

İlgili kuruluşlarca (ORKÖY, OR-KOOP, orman işletme müdürlükleri, bölge üst birlikleri) düzenli bir şekilde eğitim çalışmaları yapılmalı ve kooperatif ortaklarının bu çalışmalara katılımı mutlaka sağlanmalıdır. Kooperatif ortaklarınca kooperatifçilik, ormancılık işleri, ürün değerlendirme ve alternatif üretim teknikleri doğru bir şekilde öğrenilmeli ve benimsenmelidir. İlgili kuruluşların kooperatiflere bu şekilde yardımcı olabilmeleri için de bütçe olanaklarının arttırılması ve bu işle uğraşacak yeterli personelinin bulunması gerekmektedir**.**

Kooperatifte ortakların yönlendirilmesi ve kooperatifin amaçlarına ulaşabilecek şekilde çalıştırılması konusunda kooperatif başkanlarına çok büyük bir görev düşmektedir. Dolayısıyla hem genel eğitim düzeylerinin yüksek olması hem de kooperatifçilik, yöneticilik, pazarlama gibi konularda eğitim almış olmaları gerekmektedir. Üst birlikler veya ilgili kamu kuruluşlarınca düzenlenebilecek eğitim, kurs ya da seminerlerle bu konulardaki eksiklikleri giderilmelidir.

Ülkemizin kırsal alandaki, dolayısıyla tarımsal alandaki sosyo – ekonomik sorunlarının çözülmesinin, tarımsal kalkınmanın sürdürülebilir ve kalıcı temellere kavuşturulmasının ve kırsal nüfusun yerinde istihdamının sağlanıp refah düzeylerinin yükseltilmesinin en etkili ve önemli yolu üretici örgütlenmesidir. Bunun temelini de kooperatifçilik oluşturur (Güllü, 2010).

Kooperatifçilik eğitimi çok önemlidir. Kanada ve Yunanistan gibi ülkelerde kooperatifçilik Yüksekokulları bulunmaktadır. Bizde bu hususta adımlar atılmalı, var olan ve 2 yıllık eğitim veren kooperatifçilik Yüksekokullarının yanında 4 yıllık lisans birimleri de kurulmalıdır. Ayrıca kooperatif üst örgütleri hizmet için kooperatif yönetici personeline yönelik eğitim programları (kurs, seminer, konferanslar vb.) düzenlenmelidir. Ayrıca genel boyutta ve bölgesel boyutta kooperatifçilik araştırmaları yapılmalıdır.

Üreticilerin birlik ve kooperatiflere katılımları düşüktür ve bu düşüklük teşvik edici tedbirlerle yükseltilmelidir (Güllü, 2010).

Orman köylülerinin çoğunluğu kooperatifçiliğe ilişkin olumsuz yerel bir algıya sahip olup köylüler kooperatifin köyün kalkınmasında hiçbir katkı sağlamayacağına inanmaktadır. Zira orman köylerinde kooperatiflerin birçoğu sayı olarak köylünün geniş katılımı ile kurulmaktadır. Tüm üyelerin kooperatiflere güvenin tesis edilmesi ve yönetime katılımının sağlanması kooperatiflerin başarısını arttıracak hususlardandır.

Kooperatif yöneticilerinin ifadelerine göre kullanılan kredilerin tamamı amacına ulaşmış ve kooperatifler için yararlı olmuştur. ORKÖY tarafından sağlanan krediler kooperatifler için önemli bir finansman kaynağıdır. Bununla birlikte, ORKÖY kredileri de hükümetlerin politikaları ile çok yakından ilgili olduğundan bu kaynaklarda yeterince verimli kullanılamamakta ve uygulamalarda bir devamlılık sağlanamamaktadır. Özellikle 1980'li yıllardan sonra ORKÖY'ün orman köylüsü ve kooperatiflere sağladığı desteğin azaldığı bilinen bir hususdur (Alkan ve Demir, 2013).

Kooperatiflerin mevcut ortak sayılarının düşük ve buna ek olarak aktif çalışan ortak sayısının da az olması, çalışma şartlarının zor olduğu ormancılık faaliyetlerinde, kooperatiflerin alınan işi düzgün ve gerekli süre içinde yapamamasına neden olmaktadır. Kooperatiflerde böyle bir ortak yapısının oluşmasında, orman kooperatiflerinin kurulu bulunduğu köylerden büyük şehirlere eğitim ya da iş için giden kişilerin köylerine geri dönmemeleri ve bu köylerde az da olsa bulunan genç nüfusun kooperatifçiliğe eskisi kadar ilgi duymamasının rolü vardır (Günşen, 2006).

Kooperatiflerin kurulu bulunduğu bölgelerde istihdam artırıcı çalışmalar yapılarak büyük şehirlere olan göç önlenmelidir.

Kooperatifler orman ürünleri üretilmesi ve değerlendirilmesi dışındaki konularda az iş alabilmektedir. Bunun nedeni kooperatiflerin sermaye, teknik eğitim, donanım vb. konularında yeterli olmamalarıdır. Halbuki, çeşitli iş konularında yeterli olsalar 6831 sayılı Orman Kanunu'nun 40. maddesi gereğince

yörelerinde yapılacak olan bütün işlerde (ağaçlandırma, orman bakımı, imar, yol yapımı, kesme, toplama, taşıma vb.) çalışabilecekler ve ekonomik gelirlerini arttırma olanağı bulacaklardır.

Araştırma neticesinde elde edilen verilere baktığımızda, son yıllarda gıda ve orman ürünleri sanayi dışında herhangi bir kooperatif çalışması görülmemektedir. Diğer çalışmalarda yer alan ifadelere göre vahidi fiyatların yetersizliği, girdi fiyatlarının yüksekliği, iş kazaları ve sosyal güvenlik sorunları gibi nedenlere bağlı olarak kooperatif üyelerinin ormancılık işlerinde çalışma isteklerinin gün geçtikçe azaldığı belirtilmektedir. Kooperatif üyeleri genç neslin başka bir alternatif bulduğu taktirde artık ormancılık işlerini yapmak istemedikleri belirtilmektedir. Orman işletmelerinin kayıtları da bunu doğrular niteliktedir. Tarım ve hayvancılığa yönelik sınırlı etkinlikler dışında kooperatiflerin etkinlik alanlarının genişletilememiş olması ise önemli bir sorun olarak tespit edilebilir (Alkan ve Demir, 2013).

Kooperatiflerin çoğunluğu bugüne kadar, çalışma konularını arttırabilecek ve bu çalışmalarda gerekli, güncel ve tekniğe uygun donanımları temin edebilecek herhangi bir proje hazırlayamamıştır. Bunun nedeni kırsal bölgelerde genelde tip projelerin uygulanması ve kooperatiflerin ortak sayılarının projeyi gerçekleştirmek için gerekli olan kişi sayısından az olmasıdır. Kooperatiflerin kendi aralarında güvensizlik duygusunun olması, çalışma alanının coğrafik özelliğinden dolayı köy yerleşimlerinin çok dağınık ve aralarında ulaşım sorununun olması gibi nedenler birkaç kooperatifin birleşerek bir proje girişiminde bulunmasını da engellemektedir.

Sonuç olarak, Türkiye'de ormancılık kooperatiflerinin bölge bölge incelenmesi ve sorunlarının tespit edilmesi, bu sorunların çözülmesine ilişkin önerilerin getirilmesi gerekmektedir. Bunun içinde tüm Türkiye'yi kapsayacak bilimsel çalışmalara ihtiyaç vardır (Günşen, 2006).

Kaynaklar

Alkan, H. ve Demir, E. (2013). Orman köylerinde kooperatifçiliğin gelişimine etki eden etmenler. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, (14), 1-9.

Demirtaş, C. ve İğdeli, A. (2020). Kooperatiflerin bölgesel dağılımı bölge ekonomileri üzerindeki rolü. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/349109944.

Güllü, S. (2010). *Şanlıurfa ilindeki Tarım Kooperatiflerinin sorunları ve çözüm önerileri üzerine bir araştırma.* Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Günşen, H.B. (2006). *Batı Karadeniz Bölgesi'ndeki ormancılık kooperatiflerinin sorunları ve çözüm önerileri (Kastamonu örneği).* Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bartın.

Müftüoğlu, H. ve Aydos, V. (2001). *Türkiye'de kooperatifçilik: Türk konut kooperatifçiliğine alternatif bir model.* İstanbul Ticaret Odası, 2001(46).

OGM (2019). Orman Genel Müdürlüğü Web Sitesi. https://www.ogm.gov.tr/tr/ormanlarimiz/resmi-istatistikler

Öksüz, E. (1982). Kooperatifçilik kavramı ve ilkelerinin ışığında Türkiye'de köy kalkınma kooperatifleri. *Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi,* (31), 329-358

Örki, A. (2016). Ekonomik kalkınmada kooperatiflerin öneminin örneklerle değerlendirilmesi. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 3(2), 13-22.

Pakdemirli, B. (2019). Tarımsal kooperatiflerin dünya ve Türkiye'de mevcut durumunun karşılaştırılması. *Journal of Aegean Agricultural Research Institute,* 29(2), 177-187.

Sına, Z. (1984). Sosyal ve ekonomik kalkınmada bir araç olarak kooperatifler. *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi,* (6), 157-170.

Terrasi, E. (2018). Global study on youth cooperative entrepreneurship with a focus on worker, social and independent producers'/workers' cooperatives, Brussels, CICOPA.

Kimyasal modifikasyon işleminde vakum uygulamasının odunun fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi

Nasır NARLIOĞLU
İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 35640, İzmir

Öz
Bu çalışmada, kimyasal modifikasyon işleminde vakum uygulamasının odunun fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kestane ağacı (*Castanea sativa*) odunu vakum yöntemi ve geleneksel yöntemle modifiye edilmiştir. Kimyasal modifikasyon yöntemlerinin tamamında propiyonik anhidrit kullanılmıştır. Modifikasyon işlemlerinde diğer deney parametreleri (kimyasal, katalizör, sıcaklık, süre) sabit tutulmuştur. Kimyasal modifikasyon işlemi sonrasında en fazla ağırlık artışı %8.27 değeri ile vakum altında yapılan modifikasyon işleminde görülmüştür. Modifiye edilmiş odun örneklerinin suya daldırılmaları sonucunda ağırlık ve boyut değerleri modifiye edilmemiş örneklerinkilerle karşılaştırılmıştır. Odun örneklerinin suda bekletilmeleri sonucunda modifiye edilmiş örneklerin modifiye edilmemiş örneklere kıyasla daha az su aldığı görülmüştür. Ayrıca odun örneklerinin suya daldırılmaları sonucunda modifiye edilmiş örneklerin boyut değişimlerinin daha az olduğu görülmüştür. Diğer yandan odun örneklerinin suda bekletilmeleri sonucunda geleneksel yöntemle modifiye edilmiş örneklerin vakum altında modifiye edilmiş örneklere kıyasla daha az su aldığı görülmüştür. Ayrıca geleneksel yöntemle modifiye edilmiş örneklerin vakum yöntemi ile modifiye edilmiş örneklere kıyasla suda daha az hacim değişimi sergiledikleri görülmüştür. Modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş odun örneklerinin kimyasal karakterizasyonu Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) kullanılarak yapılmıştır. FTIR spektroskopisi sonuçlarına göre, kimyasal modifikasyon sonrası 800, 1240, 1380, 1550 ve 1740 cm^{-1} dalga boyu pik şiddetlerinde artış görülmüştür.
Anahtar kelimeler: Vakum yöntemi, Kimyasal modifikasyon, Kestane odunu

The effect of vacuum treatment on the physical and chemical properties of wood in chemical modification process

Nasır NARLIOĞLU
İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, 35640, İzmir, Turkey

Abstract
In this study, it was aimed to determine the effect of vacuum treatment on the physical and chemical properties of wood in chemical modification process. For this aim, sweet chestnut (*Castanea sativa*) wood has been modified by vacuum method and traditional method. Propionic anhydride has been used in all chemical modification methods. In the modification processes, other test parameters (chemical, catalyst, temperature, time) were kept fixed. After the chemical modification process, the highest weight gain was seen in the modification process under vacuum with 8.27% value. As a result of the soaking of the modified wood samples in water, the weight and dimension values were compared with those of the unmodified samples. As a result of soaking the wood samples in water, it was observed that the modified samples take up less water compared to the unmodified samples. In addition, as a result of soaking the wood samples in water, it was observed that the modified samples have less dimension changes. On the other hand, as a result of soaking of wood samples in water, it was observed that samples modified by traditional method absorb less water than samples modified under vacuum. In addition, it has been observed in water that samples modified by conventional method exhibit less volume change compared to samples modified by vacuum treatment. Chemical characterization of modified and unmodified wood samples was performed using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR). According to FTIR spectroscopy results, an increase in the wavelength peak intensities of 800, 1240, 1380, 1550 and 1740 cm^{-1} was observed after chemical modification.
Keywords: Vacuum method, Chemical modification, Sweet chestnut wood

1. Giriş

Odunun çeşitli kimyasallar ile yapısının değiştirilmesi kimyasal modifikasyon olarak tanımlanmaktadır. Odunun anhidritler, izosiyanatlar, formaldehit vd. kimyasallar ile modifikasyonu uzun yıllar araştırma konusu olmuştur (Hill 2006; Rowell 2006; Çetin vd., 2011). Odunun yapısındaki hidroksil (OH) grupları ile kimyasal maddelerin reaksiyonu sonucunda, odun ağırlığı ve boyutlarında değişiklik görülmektedir. Odunun kimyasal modifikasyonu sonrası ahşap malzemelerin mantar, termit gibi çeşitli zararlıların uğrattığı tahribatlara karşı direnç kazandığı ve boyut kararlılığının arttığı bazı çalışmalarda rapor edilmiştir (Stamm ve Tarkow 1947; Hill ve Jones, 1996; Hill ve Jones, 1999; Çetin ve Özmen 2001; Wang vd., 2002; Hill ve Hale 2006).

Odunun laboratuvar şartlarında kimyasal modifikasyonu genellikle manyetik karıştırıcılı ısıtıcı düzeneği veya sıcak yağ banyosu düzeneğinde yapılmaktadır. Kimyasal modifikasyon işlemlerinde yaygın olarak kullanılan bu reaksiyon yöntemlerinin yanı sıra mikrodalga destekli reaksiyon yöntemi ve vakum altında yapılan reaksiyon yöntemleri diğer modifikasyon yöntemleridir. Odunun kimyasal modifikasyonunda kullanılan reaksiyon yöntemleri; modifikasyonun etkinliği ve reaksiyon süreleri bakımından farklılık göstermektedir.

Bu çalışmada, kimyasal modifikasyon yöntemlerinin odunun fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerindeki etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla kestane odunu alçak basınç (vakum) ve normal atmosfer basıncı altında (geleneksel), propiyonik anhidritle ayrı ayrı kimyasal modifikasyon işlemlerine tabi tutulmuştur. Diğer yandan, modifiye edilmiş ve modifiye edilmemiş odun örneklerinin suda bekletilmeleri sonucunda fiziksel özelliklerindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca odun örneklerinin kimyasal karakterizasyonu için Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) cihazı kullanılarak FTIR spektrumları alınmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Malzeme

Bu çalışmada, odun örneği olarak kestane ağacı (*Castanea sativa*) öz odunu kullanılmıştır. Kestane odunu yerel kereste üreticilerinden temin edilmiştir. Odun örneklerinin ekstraksiyonu için kullanılan toluen, aseton ve etanol Merck firmasından, kimyasal modifikasyon işlemleri için kullanılan propiyonik anhidrit Sigma aldrich firmasından, dimetilformamid (DMF) ve potasyum karbonat (K_2CO_3) Merck firmasından temin edilmiştir.

Odun örnekleri; vakum yöntemi (A), geleneksel yöntem (B) ve modifiye edilmeyen (kontrol) örnekler (C) olarak gruplandırılmıştır. Her grup için 3 adet örnek 103±2 °C sıcaklığa ayarlı fırında tam kuru hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan odun örnekleri fosfor pentaoksit bulunan desikatörde bekletildikten sonra tam kuru yoğunluk değerleri tespit edilmiştir.

Grupların ortalama tam kuru yoğunluk değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de odun örneklerinin tam kuru yoğunluk (D_0) değerlerinin 0.55 – 0.56 gr/cm^3 arasında olduğu görülmektedir. Ayrıca bu çalışmada tespit edilen yoğunluk değerlerinin kestane odunu ile ilgili literatür değerleriyle örtüştüğü görülmüştür.

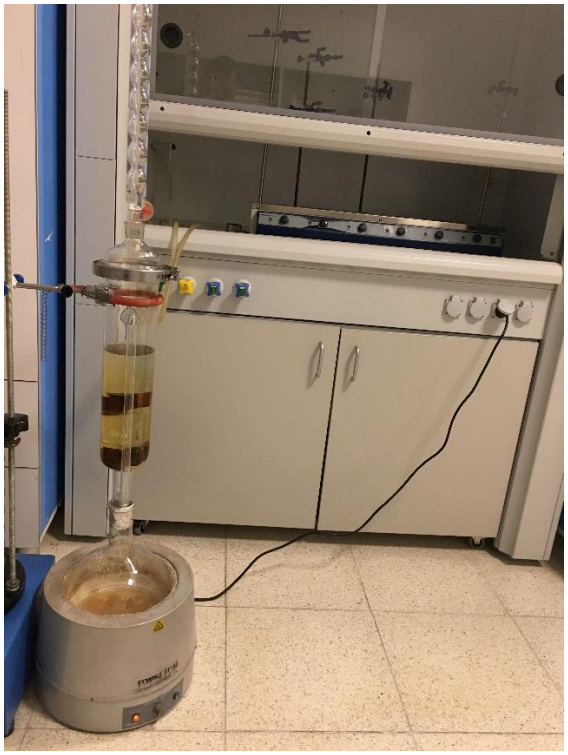
Tablo 1. Odun örneklerinin tam kuru yoğunluk değerleri

Grup	**A**	**B**	**C**
D_0 (gr/cm^3)			
$\bar{x}$	0.559	0.554	0.564
s	0.010	0.017	0.035

2.2. Yöntem

Kimyasal modifikasyon işlemlerinde, modifikasyonun etkinliğini arttırmak için odunun yapısında bulunan ekstraktif maddelerin solvent ekstraksiyonu yöntemiyle uzaklaştırılması gerekmektedir. Ayrıca, modifiye edilmiş odun örneklerinin suda bekletildikten sonra yapısında kalan reaksiyona girmemiş artık kimyasalların yıkanmasından kaynaklanan farklı ağırlık değerleri sebebiyle ağırlık değişimi hesaplarının doğruluğu için kimyasal modifikasyon sonrası tekrar ekstraksiyon işlemleri yapılmıştır.

Odun örnekleri, yapısında bulunan ekstraktif maddelerin ve reaksiyon sonrası arta kalan kimyasal maddelerin uzaklaştırılması amacıyla hacimce 4-1-1 oranında toluen, aseton ve etanol karışımı ile soxhlet ekstraksiyonu düzeneğinde (Şekil 1) 6 saat süreyle ayrı ayrı ekstraksiyon işlemlerine tabi tutulmuştur.



Şekil 1. Odun örneklerinin soxhlet ekstraksiyonu

Ekstrakte edilmiş odun örnekleri, reaksiyon yöntemleri (geleneksel/vakum) farklı olmak koşuluyla, diğer deney parametreleri (kimyasal, katalizör, sıcaklık, süre) sabit tutularak üç tekrar şeklinde ayrı ayrı kimyasal modifikasyon işlemlerine tabi tutulmuştur. Odun örneklerinin kimyasal modifikasyonu için 1 gr tam kuru odun ağırlığına göre 10 mmol propiyonik anhidrit ve 0.1 mmol potasyum karbonat kullanılmıştır. Ayrıca bütün kimyasal reaksiyonlarda dimetilformamid (DMF) çözücüsü kullanılmıştır. Kimyasal modifikasyon işlemleri, 100 °C sıcaklığa ayarlı geleneksel reaksiyon düzeneği (Şekil 2a) ve aynı sıcaklığa ayarlı, 720 mbar vakum altındaki etüvde (Şekil 2b) 6 saat süresince ayrı ayrı yapılmıştır.



a) b)

Şekil 2. Odun örneklerinin kimyasal modifikasyonu, **a)** geleneksel yöntem, **b)** vakum yöntemi

2.3. Kimyasal modifikasyon sonrası fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Odun örneklerinin kimyasal modifikasyon sonrası ağırlık ve hacim değişimleri 1/1000 hassasiyetli mikrometre ve terazi kullanılarak aşağıdaki denkleme (1) göre hesaplanmıştır.

$$D(\%) = \frac{d_2 - d_1}{d_1} \times 100 \quad (1)$$

D= Modifikasyon sonrası ağırlık veya hacim değişikliği
d_1 = Kimyasal modifikasyon öncesi tam kuru ağırlık veya hacim değeri
d_2 = Kimyasal modifikasyon sonrası tam kuru ağırlık veya hacim değeri

2.3. Suda bekletme sonrası fiziksel özelliklerin belirlenmesi

Kimyasal modifikasyon işlemine tabi tutulmuş ve tutulmamış (kontrol) odun örneklerinin 24, 48, 72, 96 ve 120 saat süresince suya daldırılarak bekletildikten sonra ağırlık ve üç farklı kesit (radyal-teğet-boyuna) ölçüleri kaydedilerek aşağıdaki denkleme (2) göre ağırlık ve hacim değişimleri hesaplanmıştır.

$$B(\%) = \frac{b_2 - b_1}{b_1} \times 100 \quad (2)$$

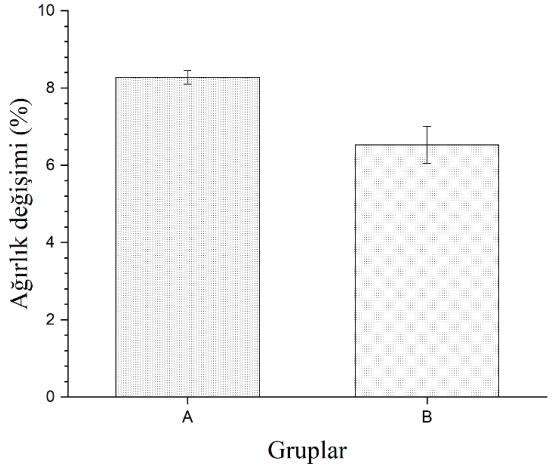
B= Suda bekletme sonrası ağırlık veya hacim değişiklik yüzdesi
b_1 = Tam kuru ağırlık veya hacim değeri (ilk değerler)
b_2 = Yaş ölçülen ağırlık veya hacim değeri (son değerler)

2.4. FTIR analizi ile kimyasal karakterizasyon

Odun örneklerinin kimyasal karakterizasyonu için FTIR spektroskopisinden faydalanılmıştır. FTIR analizlerinden elde edilen spektrumların yorumlanması ve birbirleriyle kıyaslanması sonucunda bu örnekler karakterize edilmiştir. FTIR analizleri için odun örnekleri laboratuvar tipi öğütücüde öğütüldükten sonra 103±2 °C'ye ayarlı fırında tam kuru hale gelinceye kadar kurutulmuştur. Kurutulan örnekler potasyum bromür (KBr) ile 100'e 1 oranında (KBr/numune) karıştırılarak pellet formuna getirilmiştir. Daha sonra Shimadzu 8400s FTIR spektrofotometresi kullanılarak pelletlerin kızılötesi spektrumları alınmıştır.

3. Bulgular ve tartışma

Kimyasal modifikasyon sonrasında örnek gruplarının her iki modifikasyon yönteminde ağırlıklarının arttığı tespit edilmiştir. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi vakum altında gerçekleştirilen kimyasal modifikasyonda ortalama %8.27 oranında ağırlık artışı ile geleneksel yönteme kıyasla daha fazla ağırlık artışı olduğu görülmüştür. Diğer yandan geleneksel yöntemle yapılan kimyasal modifikasyon sonucunda örnek ağırlıklarının ortalama %6.53 oranında arttığı tespit edilmiştir. Odun modifikasyonunda kullanılan kimyasalların türü ve miktarlarına göre, odunun farklı oranlarda ağırlık değişimi sergiledikleri literatürde bildirilmiştir. Odunun asetilasyonu sonrasında ağırlıklarının %2.4 ile %7.6 arasında değiştiği rapor edilmiştir (Çetin vd., 2011).



Şekil 3.1. Odun örneklerinin kimyasal modifikasyon sonrası ağırlık değişimleri (A; vakum yöntemi, B; geleneksel yöntem)

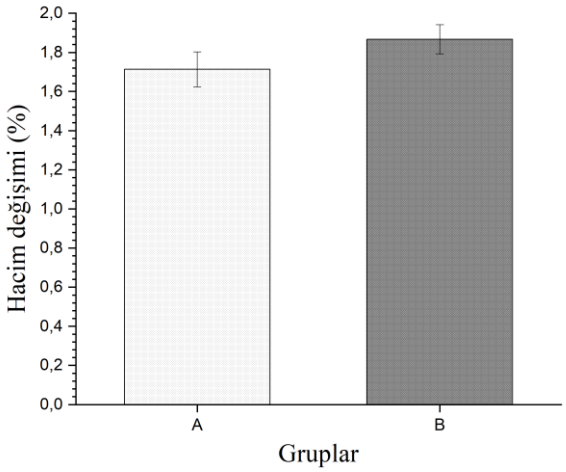
Kimyasal modifikasyon sonrasında odun örneklerinin boyutlarında %0.242 ile %0.866 arasında değişen oranlarda artış tespit edilmiştir. Tablo 3.1'de odun örneklerinin kimyasal modifikasyon sonrası boyut değişiminin en fazla teğet kesitlerde, en az ise boyuna kesitlerde artış şeklinde olduğu görülmektedir.

Tablo 3.1. Kimyasal modifikasyon sonrası örnek boyutlarındaki değişmeler (A; vakum yöntemi, B; geleneksel yöntem)

Gruplar	**B** (%)	**T** (%)	**R** (%)
A			
x̄	0.350	0.730	0.623
s	0.050	0.108	0.110
B			
x̄	0.242	0.866	0.747
s	0.079	0.065	0.079

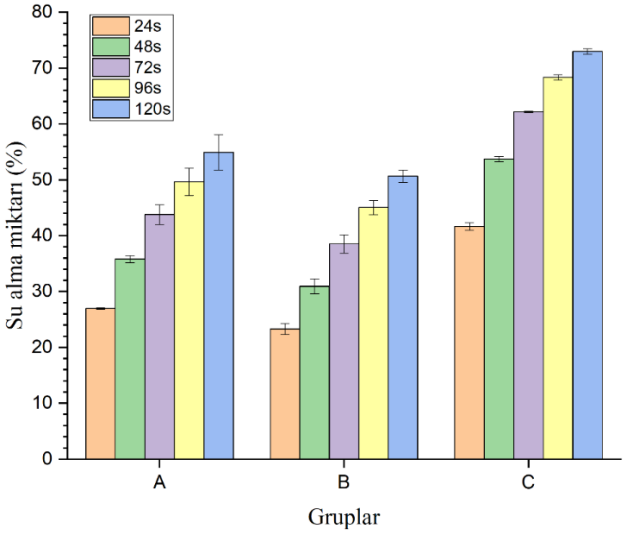
B; boyuna, **T;** teğet, **R;** radyal

Kimyasal modifikasyon sonrası örnek gruplarının hacimlerinde görülen ortalama değişiklik Şekil 3.2'de verilmiştir. Şekil 3.2'de vakum ortamında yapılan kimyasal modifikasyon sonucunda örneklerin daha az hacim değişimi sergiledikleri görülmektedir. Odun örneklerinin vakum yöntemiyle modifikasyon sonrası %1.71, geleneksel yöntemle modifikasyon sonrası %1.86 oranında hacim artışı sergiledikleri görülmüştür. Geleneksel yönteme kıyasla vakum yönteminde görülen daha düşük hacim artışının, reaksiyon ortamı atmosferinin odun hacmi üzerindeki etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 3.2. Odun örneklerinin kimyasal modifikasyon sonrası hacim değişimleri (A; vakum yöntemi, B; geleneksel yöntem)

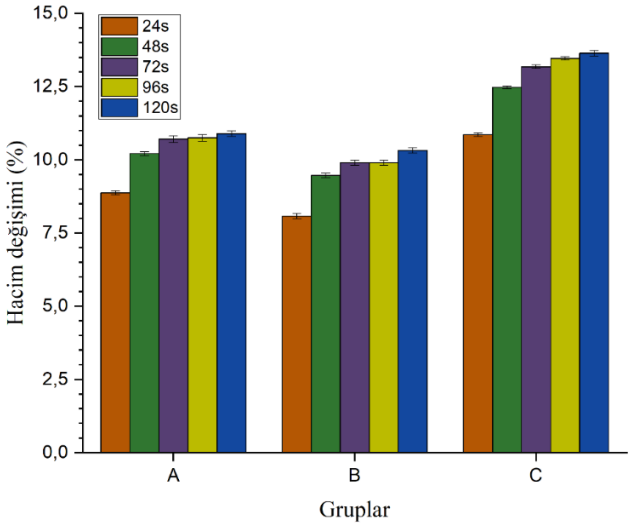
Odun örneklerinin farklı sürelerde (24, 48, 72, 96, 120 saat) suda bekletilmeleri sonucunda su alma miktarları Şekil 3.3'te verilmiştir. Suda bekletme sonrasında en az su alan örneklerin geleneksel yöntemle modifiye edilmiş örnekler olduğu görülmektedir. Diğer yandan modifiye edilmemiş (kontrol) örneklerin modifiye edilmiş örneklere kıyasla daha fazla su aldığı görülmüştür. 24 saat suya daldırılarak bekletilen vakum yöntemine göre modifiye edilmiş örneklerin %26.94, geleneksel yönteme göre modifiye edilmiş örneklerin %23.27, modifiye edilmemiş örneklerin ise %41.62 oranında su aldıkları tespit edilmiştir. 120 saat sonunda yapılan ölçümlerde ise vakum yöntemiyle modifiye edilen örneklerin %54.92, geleneksel yöntemle modifiye edilen örneklerin %50.62, kontrol grubu örneklerinin ise %72.95 oranında su aldıkları görülmüştür. Bunlara ek olarak odun örneklerinin ölçülen süreler sonunda su alma oranlarının her grupta kademeli olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 3.3. Odun örneklerinin suda bekletilmeleri sonucunda su alma miktarları (A; vakum yöntemi, B; geleneksel yöntem, C; kontrol)

Şekil 3.4'te odun örneklerinin suda bekletilmeleri sonucunda hacimlerinde görülen değişiklikler verilmiştir. Şekil 3.4'te görüldüğü gibi örneklerin farklı zamanlarda (24, 48, 72, 96, 120 saat) suda bekletilmeleri sonucunda hacim ölçülerinde giderek artış kaydedilmiştir. Modifiye edilmiş odun örneklerinin suda bekletilmeleri sonucunda kontrol örneklerine kıyasla genel olarak hacim artışının daha az olduğu görülmektedir. Odun örneklerinin 24 saat suya daldırılarak bekletildikten sonra vakum yöntemi ile modifiye edilmiş örneklerin hacimlerinde %8.87, geleneksel yöntemle modifiye edilmiş örneklerin hacimlerinde %8.07, kontrol örneklerinin hacimlerinde ise %10.85 oranında artış görülmüştür. Modifiye edilmiş odun örneklerinin kontrol örneklerine kıyasla hacimlerinde daha az artış görülmesi, suya karşı

duyarlı (hidrofil) OH gruplarının kimyasal modifikasyonla bloke edilmesi sonucunda suya karşı duyarsız (hidrofob) özellik kazanmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Odun örneklerinin 120 saat suda bekletilmeleri sonucunda vakum yöntemiyle modifiye edilmiş örneklerin hacminde %10.89, geleneksel yöntemle modifiye edilmiş örneklerin hacminde %10.32, kontrol grubu örneklerinin hacminde ise %13.64 oranında artış görülmüştür.



Şekil 3.4. Odun örneklerinin suda bekletilmeleri sonucunda hacim değişimleri (A; vakum yöntemi, B; geleneksel yöntem, C; kontrol)

Odun örneklerinin suda bekletilmeleri sonucunda boyuna, teğet ve radyal kesitlerinde farklı oranlarda değişiklik görülmüştür. Tablo 3.2'ye göre örneklerin en az boyut değişiminin boyuna kesitlerde, en fazla boyut değişiminin ise teğet kesitlerde olduğu görülmektedir. Odun örneklerinin 24, 48, 72, 96 ve 120 saat suda bekletildikten sonra üç farklı kesit ölçüsü değerlerinin incelemeleri neticesinde, modifiye edilmiş odun örneği ölçülerinin, modifiye edilmemiş örneklerinkine kıyasla daha az artış sergiledikleri tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak geleneksel yöntemle modifiye edilmiş odun örneklerinin, vakum altında modifiye edilmiş örneklere kıyasla daha az boyut değişimi sergiledikleri görülmüştür. Odun örneklerinin suda bekletilmeleri sonucunda geleneksel yöntemle modifiye edilmiş örneklerin vakum yöntemiyle modifiye edilmiş örneklere kıyasla boyutlarında daha az değişim görülmesi, geleneksel yöntemle modifikasyon işleminin OH gruplarının bloke edilmesinde daha fazla etkili olduğu sonucunu göstermektedir.

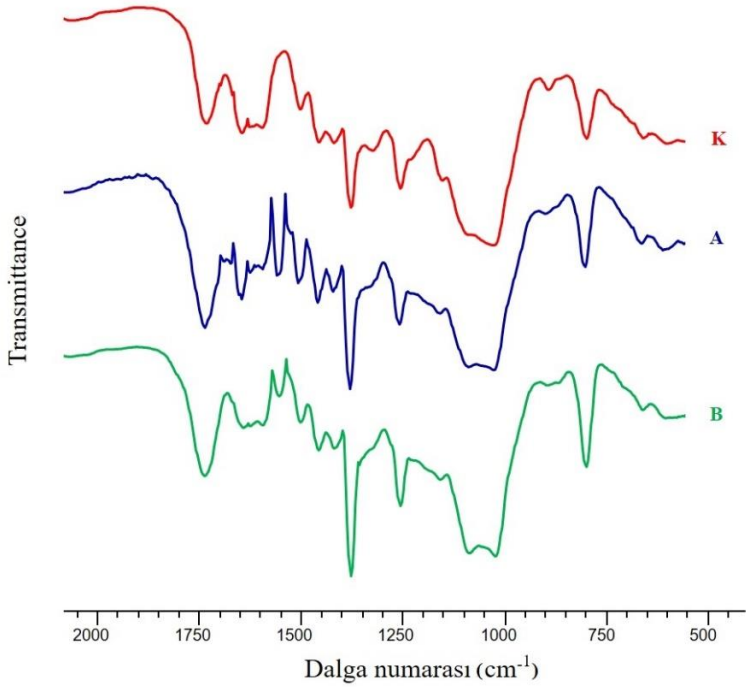
Tablo 3.2. Odun örneklerinin suda bekletilmeleri sonucunda boyutlarında (B; boyuna, T; teğet, R; radyal) görülen değişimler (A; vakum yöntemi, B; geleneksel yöntem, C; kontrol)

Süre	Gruplar	B (%)	T (%)	R (%)
	A			
	$\bar{x}$	0.083	4.888	3.959
	s	0.033	0.113	0.070
	B			
24	$\bar{x}$	0.018	3.968	3.857
	s	0.049	0.070	0.086
	C			
	$\bar{x}$	0.172	5.539	4.645
	s	0.039	0.071	0.068

	A			
	$\bar{x}$	0.133	5.596	4.612
	s	0.044	0.078	0.094
	B			
48	$\bar{x}$	0.034	4.963	4.455
	s	0.073	0.099	0.084
	C			
	$\bar{x}$	0.250	6.526	5.232
	s	0.034	0.055	0.049
	A			
	$\bar{x}$	0.155	5.777	4.667
	s	0.025	0.081	0.086
	B			
72	$\bar{x}$	0.085	5.089	4.591
	s	0.069	0.102	0.093
	C			
	$\bar{x}$	0.285	6.920	5.552
	s	0.039	0.068	0.080
	A			
	$\bar{x}$	0.249	5.805	4.783
	s	0.082	0.089	0.089
	B			
96	$\bar{x}$	0.087	5.243	4.718
	s	0.010	0.064	0.079
	C			
	$\bar{x}$	0.331	7.196	5.578
	s	0.028	0.069	0.077
	A			
	$\bar{x}$	0.267	6.101	4.980
	s	0.024	0.087	0.239
	B			
120	$\bar{x}$	0.090	5.441	4.770
	s	0.011	0.140	0.205
	C			
	$\bar{x}$	0.373	7.392	5.634
	s	0.042	0.189	0.063

Odun örneklerinin kızılötesi spektroskopisi ile karakterizasyonu sonrası elde edilen FTIR spektrumları Şekil 3.5'te verilmiştir. Şekil 3.5'te görüldüğü gibi kestane odununun propiyonik anhidritle kimyasal modifikasyonu sonrası 1550 cm^{-1} dalga boyunda yeni bir pik oluşumu gözlenmiştir. Diğer yandan kimyasal modifikasyon sonrası odun bileşenleri ile propil grupları arasında oluşan ester bağı sebebiyle 1740 cm^{-1} dalga boyu pik şiddetlerinde artış görülmüştür. Ayrıca odunun propiyonik anhidrit ile

modifikasyonu sonrası 1380 cm^{-1} dalga boyundaki C-H eğilme düzlemi ve 1240 cm^{-1} dalga boyundaki C-O gerilme titreşimlerinden kaynaklı artışlar görülmüştür. Bunlara ek olarak kimyasal modifikasyon sonrası 800 cm^{-1} dalga boyu pik şiddetlerinde belirgin bir şekilde artış görülmektedir.



Şekil 3.5. Odun örneklerinin FTIR spektrumları (A; vakum yöntemi, B; geleneksel yöntem, K; kontrol)

4. Sonuç ve öneriler

‘‘Kimyasal modifikasyon işleminde vakum uygulamasının odunun fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkisi’’ isimli bu çalışmada;

• Vakum yöntemiyle modifiye edilmiş odun örneklerinin ağırlıklarında, geleneksel yöntemle modifiye edilmiş örneklerinkine kıyasla daha fazla artış görülmüştür.

• Geleneksel yöntemle modifiye edilmiş odun örneklerinin hacminde, vakum yöntemi ile modifiye edilmiş örneklerinkine kıyasla daha fazla artış görülmüştür.

• Suda bekletme testleri sonucunda modifiye edilmiş odun örneklerinin, modifiye edilmemiş odun örneklerine kıyasla daha az su aldıkları ve daha az hacim değişimi sergiledikleri görülmüştür.

• Çalışmadan elde edilen sonuçlarda, kimyasal modifikasyon işleminin özellikle hassas mobilya elemanları ve son ölçülerine getirilmiş konstrüksiyon elemanlarının boyut kararlılığı açısından oldukça önemli olduğu görülmektedir.

• Bu çalışmada, kimyasal ve katalizör oranları sabit tutularak modifikasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda farklı katalizör ve kimyasal oranlarıyla yapılacak modifikasyon işlemleri sonrasında odun özelliklerinin incelenmesinde fayda vardır.

• Ayrıca odunun çeşitli kimyasallar kullanılarak geleneksel yöntemden farklı reaksiyon yöntemleriyle (mikrodalga modifikasyonu vd.) modifikasyonu sonucunda özelliklerinin araştırılması literatüre önemli katkıda bulunacaktır.

Teşekkür
Bu çalışmanın yapılması için laboratuvar desteğinden dolayı Prof. Dr. Nihat S. ÇETİN ve Prof. Dr. Nilgül ÇETİN’e teşekkürlerimi sunarım.

Kaynaklar

Stamm, A.J. and Tarkow, H. (1947). Dimensional stabilisation of wood. *J. Phys. Col. Chem. 51*, 493–505. DOI: 10.1021/j150452a016

Hill, C.A.S. (2006). *Wood modification: chemical, thermal and other processes* (Vol. 5). UK: John Wiley & Sons.

Rowell, R.M. (2006). Chemical modification of wood: A short review. *Wood Matrl. Sci. Eng. 1*, 29–33. DOI: 10.1080/17480270600670923

Hill, C.A.S. and Jones, D. (1996). The dimensional stabilisation of corsican pine sapwood by reactionwith carboxylic acid anhydrides. The effect of chain length. *Holzforschung, 50*, 457–462. DOI: 10.1515/hfsg.1996.50.5.457

Hill, C.A.S. and Jones, D. (1999). Dimensional changes in corsican pine sapwood due to chemical modification with linear chain anhydrides. *Holzforschung*. *53*, 267–271. DOI: 10.1515/HF.1999.045

Wang, C.L., Lin, T.S., and Li, M.H. (2002). Decay and termites resistance of planted tree sapwood modified by acetylation. *Taiwan Journal of Forest Science*, *17(4)*, 483-490.

Hill, C.A.S., Hale, M.D., Ormondroyd, G.A., Kwon, J.H. and Forster, S.C. (2006). Decay resistance of anhydride modified corsican pine sapwood exposed to the brown rot fungus Coniophora puteana. *Holzforschung*, *60*, 625–629. DOI: 10.1515/HF.2006.105

Çetin, N.S. and Özmen, N. (2001). Dimensional changes in corsican pine sapwood due to reaction with crotonic anhydfide. *WoodSci. Tech*, *35*, 257-267.

Çetin, N.S., Özmen, N. and Birinci, E. (2011). Acetylation of wood with various catalysts. *J. Wood Chem. Techn*, *31*, 142-153. DOI: 10.1080/02773813.2010.503981

Association Between PM_{10} Concentrations and Hospital Admisssions for Asthma Disease in Canakkale, Turkey

Hilal Arslan[*1,a], Hakkı Baltacı[2,b], Ülkü Alver Şahin[3,c], Burcu Onat[3,d]

[1]*Istanbul Gedik University, Faculty of Health Sciences, Department of Occupational Health and Safety, 34786, Istanbul*

[2] *Gebze Technical University, Institute of Earth and Marine Sciences, 41400, Kocaeli*

[3]*Istanbul University-Cerrahpaşa, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, 34320, Istanbul*

Abstract

In this study, the effects of PM_{10} on asthma disease were investigated for the western part of Turkey. Daily PM_{10} concentrations of four air quality monitoring stations were used, and hospital admissions of Canakkale province were provided by 18 Mart University Hospital for each age group during the period 2014-2018. It has been observed that Can district (central area of Canakkale) showed the highest PM_{10} concentration values during the winter season. From all records of air quality stations, PM_{10} values of Can exceeded the daily threshold limits set by WHO with 68% of the days. In this station, it was found that local and large-scale emission sources during low wind speeds/calm weather conditions and southerly winds exceeding 8 m/s, respectively, cause the highest PM_{10} concentrations over Can station during the cold season (May to October). According to air pollutant-respiratory diseases relations, Asthma symptoms in children (0-14) were found to be positively associated with PM_{10} (Odds ratio [OR] = 3.41; 95% confidence interval [CI], 1.96-5.95) at lag 6. Reducing the coal and oil consumption in industrial activities and setting high emission standards can increase the city's air quality and might be effective in preventing respiratory diseases.

Keywords: Asthma, Canakkale, Odds Ratio, PM_{10}

1. Introduction

Environmental problems increase in various ways and therefore threatens the environment and human health. Air pollution, one of the most important environmental hazards, affects all living beings and has serious and fatal consequences on human health. Main air pollutants are particulate matter (PM_{10}<10 μm particles and $PM_{2.5}$<2.5 μm particles), sulphur dioxide (SO_2), nitrous oxides (NO and NO_2), carbon monoxide (CO) and ozone (O_3) in an urban area and cause environmental and health problems (Le et al., 2014; Degraeuwe et al., 2017; Hossain et al., 2020).

WHO estimates that about 7 million people die annually due to air pollution-induced diseases such as stroke, lung cancer, chronic obstructive pulmonary disease (COPD), pneumonia and chronic respiratory diseases (WHO, 2020). Epidemiological studies have shown that air pollution leads to many diseases, particularly damages the respiratory system (Atkinson et al., 2001; Analitis et al., 2006; Dominici et al., 2006; Chen et al., 2007; Kampa et al., 2008; Stieb et al., 2009; Santus et al., 2012; Faustini et al., 2013; Tomášková et al., 2016; Jo et al., 2017). In terms of respiratory diseases, acute respiratory infection, asthma and COPD are the most significant ones that are affected by air pollutants (Medina-Ramón et al., 2006; Ko et al., 2007; Cirera et al., 2012; Canova et al., 2012; Meng et al., 2013; DeVries et al., 2016; Li et al., 2016; Baltaci et al., 2020). Among air pollutants, particulate matter (PM) is known as the most significant pollutant affecting respiratory and cardiovascular systems (Pope et al., 2004; Tomczak et al., 2016; Deng et al., 2017; Jo et al., 2017; Cai et al., 2018; Chu et al., 2018; Xie et al., 2018). Additionally, SO_2 (Pikhart et al., 2001; Wilson et al., 2005; Saygin et al., 2017), NOx and O_3 also cause respiratory diseases (Chauhan et al., 2003; Lin et al., 2004; Barnett et al., 2005; Peacock et al. 2011; Hwang et al., 2016). As an example, Perez et al. (2015) found a significant relation between PM_{10} and NO_2 concentrations and daily emergency hospital admissions and mortality in Switzerland. Their results showed that every 10 μg/m³ increase in PM_{10} concentrations may result in a 0.7% increase in

cardiovascular system problems and a 1.4% increase in respiratory disease problems. Santurtún et al. (2017) investigated the relationship between the air pollutant concentrations and COPD in Spain. They found that a high level of PM_{10} causes exacerbations in COPD patients.

In Turkey, air pollution has become an important issue because of the factors such as increasing population and associated urbanization, rapid industrialization, continuous migration, and heavy utilization of fertilizers. Increasing pollutant concentrations result in adverse health effects. Although air pollution-health diseases relation is very crucial for the country, very limited epidemiological studies have been carried up for Istanbul, Zonguldak, Kütahya, Isparta, Kirsehir and Ankara cities (Issever et al., 2005; Tecer et al., 2008; Ozcan et al., 2015; Capraz et al., 2015, Capraz et al., 2017). From the latest studies, Saygin et al., (2017) found strong correlation ($r = 0.59$, $p<0.01$) between PM_{10} exposure and COPD and they found weak correlation ($r = 0.25$, $p>0.05$) between PM_{10} and asthma in Isparta. Mercan et al. (2020) investigated the associations between the daily variations of PM_{10} and SO_2 and hospital admissions for asthma and COPD diseases in Kirsehir and they found significant correlations between PM_{10}, SO_2, asthma and COPD.

For Canakkale (western Turkey), some factors such as the presence of thermal power plants, industrial activities, immigration and the intensification of sea traffic occurred significant increases in pollutant concentration and associated hospital admissions. To emphasise these relations, Baltaci et al. (2020) grouped high PM_{10} concentration sources by applying HYSPLIT 72-hr backward trajectory analysis and they clustered them with Ward's minimum clustering technique. According to their results, high PM_{10} concentrations originated from Europe appear to cause especially pneumonia in elderly (>64) female at lag5 ($r=0.55$, $p<0.01$). Apart from that study, the effects of air pollutants on human health need to be examined in more detail for this region by considering a more variety of pollutants and respiratory diseases. For this purpose, this study aims to investigate the relationship between PM_{10} and hospital admissions for asthma in Canakkale province of Turkey for the period 2014-2018.

2. Material and Methods

2.1. Hospital and air quality data in Canakkale

In this study, the air quality data are obtained from the National Air Quality and Monitoring Network database for five Air Quality Monitoring Stations Biga, Biga-ICDAS, Can, Lapseki and Çanakkale-Merkez in Canakkale managed by the Ministry of Environment and Urbanization (Fig.1). This monitoring station is fully automated and provide hourly observations. Data validation and measurement techniques of these pollutants have been described in Şahin et al. (2020). Hourly mean values of PM_{10} and $PM_{2.5}$ were used in this study from January 2014 to January 2018. Missing air quality data are eliminated from the study, and therefore, hourly measurement of PM_{10} for Canakkale Merkez, Biga and Can; $PM_{2.5}$ for Lapseki were selected for western Turkey (Figure 1). Furthermore, hourly wind speed (m/s) and direction values measured in the meteorological stations, which are closest to the air quality stations, are provided by the Turkish State Meteorological Service.

The WHO Air Quality Guideline has been created to protect human health from air pollutants. According to this guideline, daily threshold limits of PM_{10} is 50 $\mu g/m^3$.

Daily respiratory hospital admission numbers are obtained from the Canakkale 18 Mart University Hospital database for the same period as that of air quality data (1826 days). Data are collected according to the International Classification of Diseases-Tenth Revision (ICD-10), which is a diagnostic-based grouping developed by the World Health Organization (WHO). Daily respiratory hospital admission numbers (ICD-10: J45 for asthma) are derived from the hospital database for each patient's age and gender. The relationship between PM_{10} with hospital admissions are investigated for the Canakkale Merkez air quality station (Number 1 in Figure 1) as it is the closest station to the hospital.

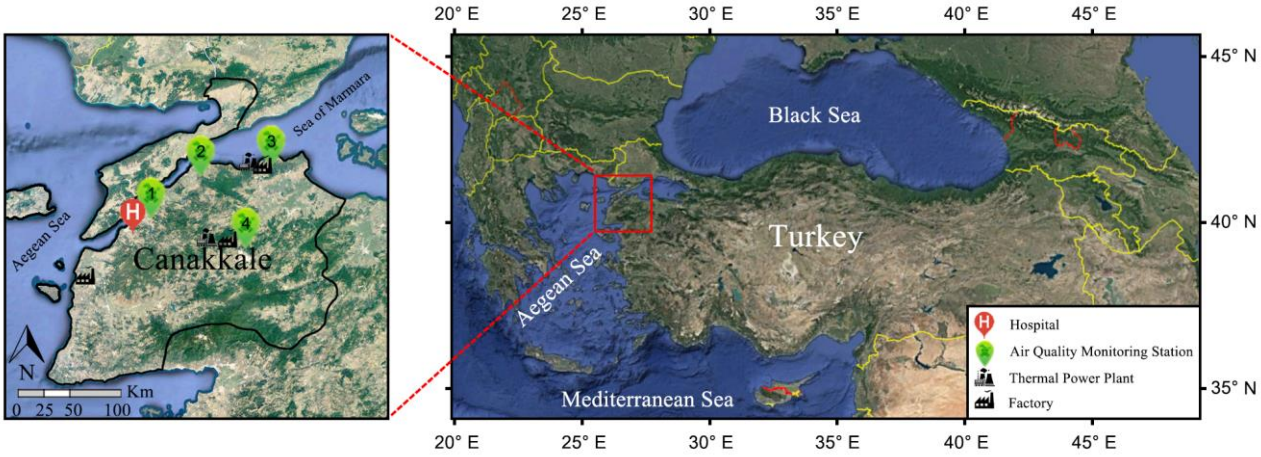


Figure 1. The distribution of four air quality monitoring stations (black numbers with green circles) in Canakkale. Numbers 1, 2, 3, and 4 mark the locations of Merkez, Lapseki, Biga, and Can air quality monitoring stations, respectively. The H term represents the Canakkale 18 Mart University Hospital located in the city center. The locations of the basic thermal power plant and factories are also shown in the Figure. The outset shows the Canakkale province in Turkey.

2.2. Statistical Analysis

Effects of pollutants on respiratory diseases were analyzed from lag0 to lag6 for each patient's age group (0-14, 15-34, 35-64, >64). Risks of air pollutants on individuals are mainly expressed with relative risk (RR) or odds ratio (OR) (Tao et al., 2014; Lu et al., 2019; Zhang et al., 2020). In this study, odds ratio (OR) and their 95% confidence intervals (CI) were calculated considering limit values of air pollutants from WHO guideline and the effect duration of pollutants on each age group were determined. In previous studies, OR values were calculated based on IQR increments in each pollutant (Deng et al., 2016; Wang et al., 2020; Zhang et al., 2021) and 10 $\mu g/m^3$ rise in exposure to air pollutants (Gu et al., 2019; Zhang et al., 2020). WHO declares that PM affects more people than any other pollutant and it is a common proxy indicator for air pollution. In this study, OR values were calculated based on WHO limit value for PM_{10}. For this purpose, OR values and confidence intervals were calculated by using Statistical Package for the Social Sciences 27.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, ABD). Later, polar plots were generated using R version 3.1.2 (R Core Team, 2015).

In order to find the locations and seasons with the highest concentration of pollutants, the seasonal variations over the region were extracted by using the inverse distance weighted (IDW) interpolation technique. This technique is known as one of the most commonly used methodology in air quality studies (Jumaah et al., 2019; Ma et al., 2019; Zeng et al., 2019; Gu et al., 2020). Seasonal concentration values of PM_{10} were extracted for the studied region by using IDW interpolation on a geographic information system (ArcGIS).

3. Results and Discussion

3.1. Seasonal variations of air pollutants

As for the seasonal distribution of the pollutants, highest seasonal PM_{10} concentration levels are shown during winter (45 $\mu g/m^3$) and followed by spring (38 $\mu g/m^3$), autumn (37 $\mu g/m^3$), summer (31 $\mu g/m^3$) seasons respectively (Fig. 2).

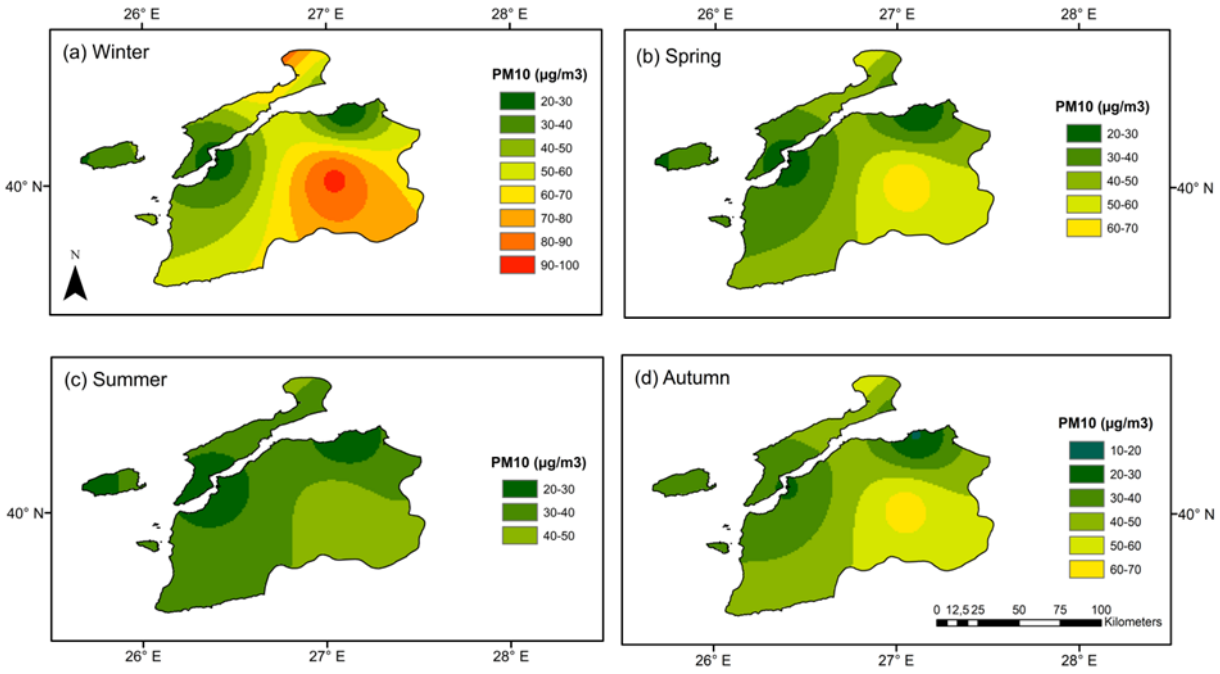


Figure 2. Interpolation results of PM_{10} concentrations ($\mu g/m^3$) in 2014-2018.

The highest concentrations were found in winter showing a good agreement with the previous studies (Baltaci et al., 2019; Lv et al., 2019; Sindosi et al., 2019; Baltaci et al., 2020). When compared to other stations, the highest mean value was found in the southern parts (e.g. Can station) as shown in Fig. 2a. It was noticed that 57% of the measured PM_{10} values exceeded the daily limit values determined by the WHO, EU and Turkey. One of the main reasons causing high concentration values of the pollutants can be explained by the location of Can Thermal Power Plant in Can district where it creates a risk for human health. In addition to that reason, topographical factors that prevent escaping of pollutants to the surrounding environments. After winter, the second highest regional mean PM_{10} values are observed during spring (Fig. 2b), and previous studies indicated the role of Saharan dust transport to Çanakkale province in this season (e.g. Baltaci et al., 2020). When Saharan dust particles are transferred by strong southwesterly winds, they do not meet any barrier (e.g. mountains) to reach western Turkey. If the local atmospheric conditions such as high temperature, no precipitation events, and inversion level close to the ground are present in the region, high amounts of dust related to PM_{10} values could be shown. The lowest PM_{10} concentration levels are measured during summer and autumn seasons with almost 33, 59% of daily PM_{10} values exceed threshold levels (Figs 2c and 2d).

Industrial activities in the province affect the air quality of Çanakkale in a negative way. There are three industrial zones in the city (Çanakkale OIZ, Biga OIZ and Ezine OIZ). It is one of the cities where the threat of coal mining and coal-fired power plants has reached the most serious levels. For example, Can Lignite Plant, EÜAŞ Can Thermal Power Plant, Kaleseramik Çanakkale Kalebodur Ceramic Factories, Akçansa Cement and clinker production facility in Ezine District, iron and steel production facility belonging to ICDAS Steel, Energy, and ICDAS Bekirli Thermal Power Plant is an important industrial facility operating in the mining and energy sector (MEU, 2020). In addition, low quality fuels used for heating purposes and high use of motor vehicles also reduce the air quality levels of the city.

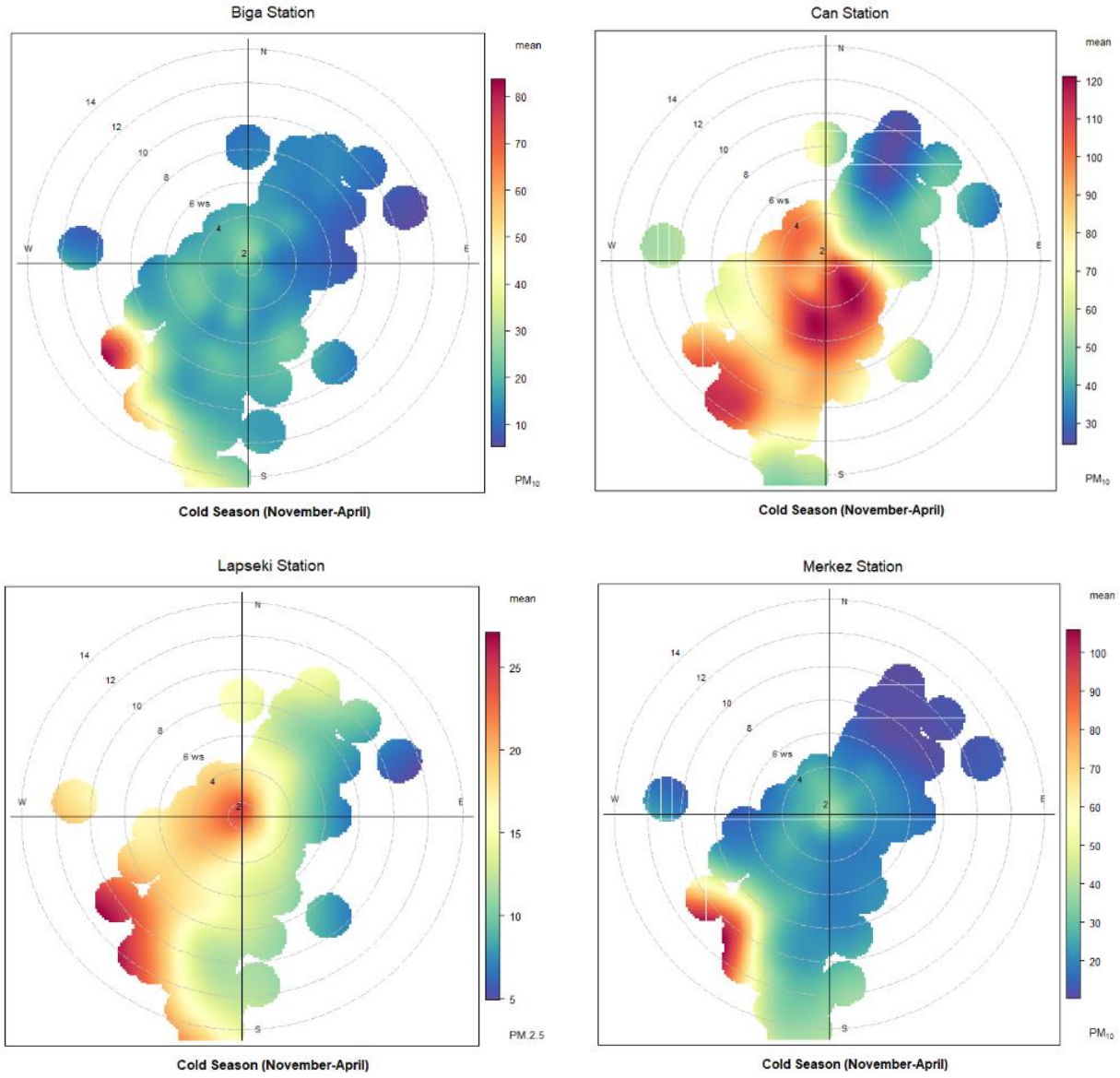


Figure 3. Polar plots of PM_{10} and $PM_{2.5}$ mean concentrations for 2014-2018 during cold season in Çanakkale.

In this study, sources of the emissions were investigated for cold (November to April) and warm (May to October) seasons of the city. In general, cold period starts in November and ends in April in the city, similar to Onat et al., 2019. The use of lignite, which causes low quality and high degree of pollution in Çanakkale province, creates pollutants such as PM, SO_2, NO_X and O_3. As a result of using low quality fuels and applying wrong combustion techniques in winter season, significant amount of pollutant concentrations are released to the atmosphere and causes significant effect on air quality and associated health diseases in Çanakkale. In addition, vehicles also cause serious air quality problems, especially in the morning and evening dense traffic hours. According to the main results, multiple sources of PM_{10} were found during the cold season. Figure 3 shows that locally sourced PM_{10} concentrations occur during low wind speeds and predominantly southerly directions in Can station. In Lapseki district, intensive ship crossings increase the concentrations of air pollutants.

On the other side, Can and Lapseki provinces get higher PM_{10} concentrations by southwesterly winds (above 8 m/s). This condition can be explained by the large-scale transport of Saharan dust particles to the region during spring months in cold season. As mentioned in previous studies, Saharan dust particles from Northern Africa passes over Mediterranean Sea and reach to the western of Turkey by strong

southwesterly winds at the surface and mid-level of the atmosphere (Baltaci, 2017; Baltaci et al 2019; Baltaci et al 2020). Apart from Can and Lapseki, Biga and Merkez stations are mainly influenced from long-range particle transport, instead of local emissions sources.

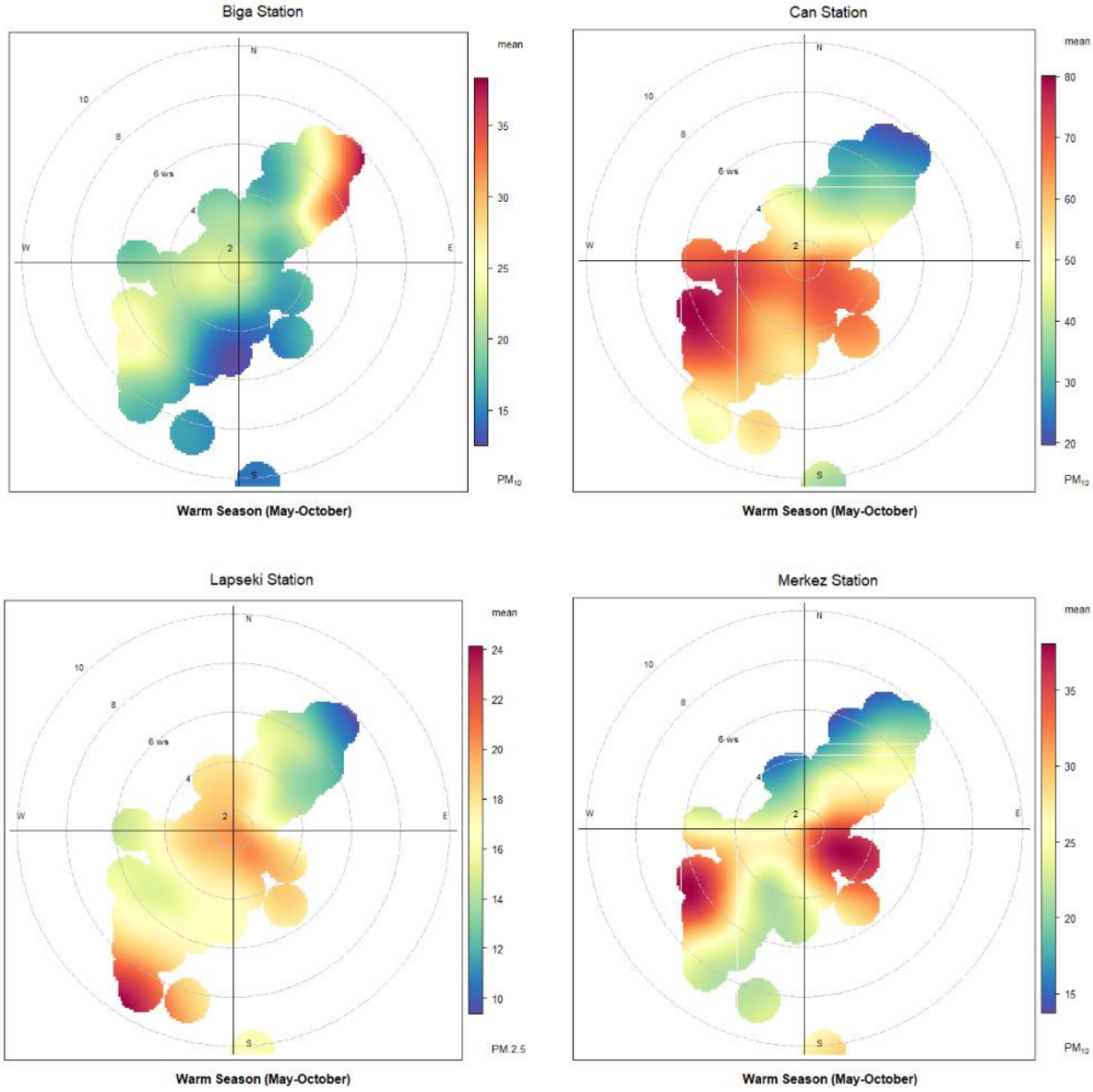


Figure 4. Polar plots of PM_{10} and $PM_{2.5}$ mean concentrations for 2014-2018 during warm season in Çanakkale.

During the warm period, the intensity of vehicles and maritime traffic cause local air quality problems in Lapseki station (Figure 4). The influence of large-scale PM_{10} transport can be shown in three stations by southwesterly directions, similar to that of cold period. However, longe-range transport in Biga province shows different behavior. Northeasterly winds cause above-normal PM_{10} concentration levels. For Can station, local and large-scale emission sources influence the PM_{10} concentration levels during calm and strong southwesterly weather conditions.

3.2. Patient characteristics

Several epidemiological studies have reported significant associations between air pollutant and hospital admissions for respiratory diseases. Some of the most common are acute respiratory infections, asthma and COPD (Darrow et al., 2014; Zheng et al., 2017; Nhung et al., 2018).

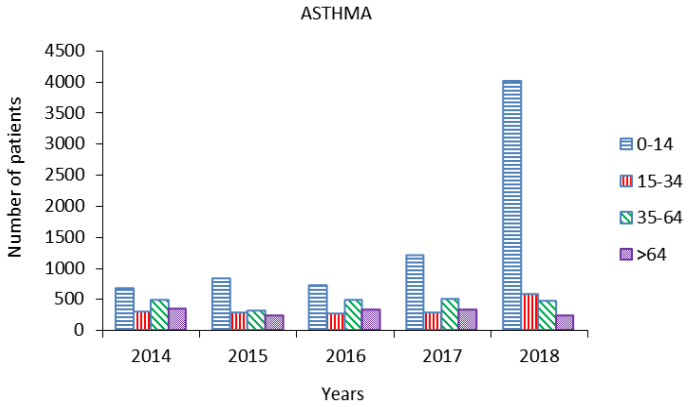


Figure 5. Yearly patients number of Asthma by age.

Asthma is the most common respiratory disease among children worldwide (WHO, 2020). Generally, it starts in childhood, although it also could develop in adults. It affects people of all ages. In 2018, high daily numbers of intensive dust loadings were transported from the Sahara to whole Turkey (Baltaci et al., 2021). This atmospheric condition can be the main reason in showing high numbers of asthma diseases (Fig. 5).

3.3. Relationship between pollutants and number of patients

OR was used to analyze the relationship between PM_{10} and asthma. For this reason, 95% confidence intervals and 99% statistical significance levels of this relationship were calculated for each age group and lag (Table1).

Table 1. Relationship between PM_{10} and hospital admissions for asthma at lag0-lag6.

Pollutant (μg/m³)	**Lag**	**Asthma**			
		0-14 (yrs)	15-34 (yrs)	35-64 (yrs)	>64 (yrs)
PM_{10}					
	0	2.113 (1.308-3.411) **	1.995 (1.335-2.983) **	1.133 (0.765-1.679) **	1.090 (0.738-1.609) **
	1	1.606 (1.027-2.511) **	1.916 (1.284-2.859) **	1.120 (0.756-1.659) **	1.094 (0.741-1.615) **
	2	1.996 (1.245-3.199) **	1.762 (1.185-2.620) **	1.358 (0.910-2.026) **	1.227 (0.832-1.809) **
	3	2.391 (1.456-3.927) **	1.606 (1.083-2.382) **	1.163 (0.784-1.725) **	1.044 (0.706-1.542) **
	4	2.919 (1.722-4.948) **	1.754 (1.179-2.607) **	1.176 (0.793-1.745) **	1.073 (0.727-1.585) **
	5	2.212 (1.359-3.601) **	1.619 (1.092-2.400) **	1.084 (0.732-1.604) **	0.890 (0.600-1.319) **
	6	3.415 (1.961-5.948) **	1.920 (1.287-2.864) **	1.170 (0.789-1.735) **	1.071 (0.725-1.581) **

** $p < 0.01$

The highest OR values between PM_{10} and asthma were found at lag6 (OR=3.41; 95% Cl, 1.96-5.95) in the children and followed by the 15-34 age group (Table 1).

4. Conclusions

In this study, the relationships between PM_{10} and asthma were investigated in Canakkale, Turkey. This region was chosen due to increasing population, urbanization, rapid industrialization, and long-range transport of air pollutants to this region from natural dust sources. For this purpose, daily concentrations of pollutants from air quality monitoring station were selected for the period of 2014-2018. For respiratory

diseases, daily numbers of the hospital admission of Canakkale 18 Mart University Hospital in Canakkale were used for each age groups (0-14, 15-34, 35-64, >64) for the same period, similar to that of air pollutant data. Firstly, sources of emissions and seasonal variations of the pollutants were explained by using polar plot diagrams and the inverse distance weighted (IDW) interpolation technique. Later, the relations between pollutants and respiratory diseases were investigated by using Odds ratio for each lag (from lag 0 to lag 6).

The highest PM_{10} values were observed at Can station when compared to the other stations and the highest seasonal PM_{10} concentrations are shown during winter (87 $\mu g/m^3$) and followed by spring (66 $\mu g/m^3$), autumn (64 $\mu g/m^3$), summer (46 $\mu g/m^3$), respectively. The results based on the relations between air pollutants and respiratory diseases indicated that PM_{10} (OR= 3.41; 95% CI, 1.96-5.95) were positively associated with asthma disease at lag6 in children.

Air pollutants are recorded above the WHO limit values in Canakkale, especially in Can district of the city. Abundance of coal-fired thermal plants and fossil fuel industry in Can increase the frequency of health diseases, and hence, renewable energy sources should be used more frequently in the future.

References

Baltaci, H., Ozgen Alemdar, C. S., & Akkoyunlu, B. O. (2020). Background atmospheric conditions of high PM_{10} concentrations in Istanbul, Turkey. Atmospheric Pollution Research.

Bigi, A., Bianchi, F., De Gennaro, G., Di Gilio, A., Fermo, P., Ghermandi, G., Prevot, A.S.H., Urbani, N., Valli, G., Vecchi., R., Piazzalunga, A. (2017). Hourly composition of gas and particle phase pollutants at a central urban background site in Milan, Italy. Atmospheric Research, 186, 83–94.

Botlaguduru, V. S. V., Kommalapati, R. R., & Huque, Z. (2018). Long-term meteorologically independent trend analysis of ozone air quality at an urban site in the greater Houston area. Journal of the Air & Waste Management Association, 1–14.

Carslaw, D.C. Beevers, S.D. (2013). Characterising and understanding emission sources using bivariate polar plots and k-means clustering Environmental Modelling & Software, 40, 325-329.

Cuspilici, A., Monforte, P., & Ragusa, M. A. (2017). Study of Saharan dust influence on PM_{10} measures in Sicily from 2013 to 2015. Ecological Indicators, 76, 297–303.

Darrow, L. A., Klein, M., Flanders, W. D., Mulholland, J. A., Tolbert, P. E., & Strickland, M. J. (2014). Air Pollution and Acute Respiratory Infections Among Children 0–4 Years of Age: An 18-Year Time-Series Study. American Journal of Epidemiology, 180(10), 968–977.

Degraeuwe, B., Thunis, P., Clappier, A., Weiss, M., Lefebvre, W., Janssen, S., & Vranckx, S. (2017). Impact of passenger car NO X emissions on urban NO 2 pollution – Scenario analysis for 8 European cities. Atmospheric Environment, 171, 330–337.

Deng, Q., Lu, C., Li, Y., Sundell, J., & Dan Norbäck. (2016). Exposure to outdoor air pollution during trimesters of pregnancy and childhood asthma, allergic rhinitis, and eczema. Environmental Research, 150, 119–127.

European Environment Agency (2019). European Union emission inventory report 1990-2017 under the UNECE Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (LRTAP). EEA technical report No 9/2019, Copenhagen.

Gong, X., Hong, S. and Jaffe, D.A. (2018). Ozone in China: Spatial Distribution and Leading Meteorological Factors Controlling O_3 in 16 Chinese Cities. Aerosol Air Qual. Res. 18: 2287-2300. https://doi.org/10.4209/aaqr.2017.10.0368

Grange, S. K., Lewis, A. C., & Carslaw, D. C. (2016). Source apportionment advances using polar plots of bivariate correlation and regression statistics. Atmospheric Environment, 145, 128–134.

Gu, K., Zhou, Y., Sun, H., Dong, F., Zhao, L. (2021). Spatial distribution and determinants of $PM_{2.5}$ in China's cities: fresh evidence from IDW and GWR. Environmental Monitoring and Assessment, 193, 15 https://doi.org/10.1007/s10661-020-08749-6.

Guan, Q., Yang, Y., Luo, H., Zhao, R., Pan, N., Lin, J., & Yang, L. (2019). Transport pathways of PM_{10} during the spring in northwest China and its characteristics of potential dust sources. Journal of Cleaner Production, 237, 117746.

Hama, S. M. L., Kumar, P., Harrison, R., Bloss, W. J., Khare, M., Mishra, S., Namdeo, A., Sokhi, R., Goodman, P., Sharma, C. (2019). Four-year assessment of ambient particulate matter and trace gases in the Delhi-NCR region of India. Sustainable Cities and Society, 102003.

Hossain, M. S., Frey, H. C., Louie, P.K.K., Lau, A.H. (2020). Combined effects of increased O_3 and reduced NO_2 concentrations on short-term air pollution health risks in Hong Kong, Environmental Pollution, 270, 116280.

Huang, R., Hu, Y., Russell, A. G., Mulholland, J. A., & Odman, M. T. (2019). The Impacts of Prescribed Fire on $PM_{2.5}$ Air Quality and Human Health: Application to Asthma-Related Emergency Room Visits in Georgia, USA. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(13), 2312.

Jumaah, H. J., Ameen, M. H., Kalantar, B., Rizeei, H. M., & Jumaah, S. J. (2019). Air quality index prediction using IDW geostatistical technique and OLS-based GIS technique in Kuala Lumpur, Malaysia. Geomatics, Natural Hazards and Risk, 10 (1), 2185–2199.

Khanum, F., Chaudhry, M. N., & Kumar, P. (2017). Characterization of five-year observation data of fine particulate matter in the metropolitan area of Lahore. Air Quality, Atmosphere & Health, 10 (6), 725–736.

Le, T. H., Thanh Nguyen, T. N., Lasko, K., Ilavajhala, S., Vadrevu, K. P., & Justice, C. (2014). Vegetation fires and air pollution in Vietnam. Environmental Pollution, 195, 267–275.

Lee, S., Lee, W., Kim, D., Kim, E., Myung, W., Kim, S.-Y., & Kim, H. (2019). Short-term $PM_{2.5}$ exposure and emergency hospital admissions for mental disease. Environmental Research.

Lv, D., Ying, C., Zhu, T., Li, T., Shen, F., & Li, X. (2019). The pollution characteristics of PM_{10} and PM2.5 during summer and winter in Beijing, Suning and Islamabad. Atmospheric Pollution Research. doi:10.1016/j.apr.2019.01.021

Ma, J., Ding, Y., Gan, V. J. L., Lin, C., & Wan, Z. (2019). Spatiotemporal Prediction of $PM_{2.5}$ Concentrations at Different Time Granularities Using IDW-BLSTM. IEEE Access, 1–1.

Nhung, N. T. T., Schindler, C., Dien, T. M., Probst-Hensch, N., Perez, L., & Künzli, N. (2018). Acute effects of ambient air pollution on lower respiratory infections in Hanoi children: An eight-year time series study. Environment International, 110, 139–148.

Onat, Şahin, Uzun, Akın, Özkaya, & Ayvaz. (2019). Commuter Exposure to Black Carbon, Fine Particulate Matter and Particle Number Concentration in Ferry and at the Pier in Istanbul. Atmosphere, 10 (8), 439.

Polezer, G., Tadano, Y. S., Siqueira, H. V., Godoi, A. F. L., Yamamoto, C. I., de André, P. A., Pauliquevis, T., Andrade, M.F., Oliveira, A., Saldiva, P., Taylor, P., Godoi, R. H. M. (2018). Assessing the impact of $PM_{2.5}$ on respiratory disease using artificial neural networks. Environmental Pollution, 235, 394–403.

Remoundaki, E., Bourliva, A., Kokkalis, P., Mamouri, R. E., Papayannis, A., Grigoratos, T., Samara, C., Tsezos, M. (2011). PM_{10} composition during an intense Saharan dust transport event over Athens (Greece). Science of The Total Environment, 409 (20), 4361–4372.

Ribas, A., Peñuelas, J. 2004. Temporal patterns of surface ozone levels in different habitats of the North Western Mediterranean Basin, Atmospheric Environment, 38, 7, 985-992.

Santurtún, A., Rasilla, D. F., Riancho-Zarrabeitia, L., & Zarrabeitia, M. T. (2017). Relationship Between Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Air Pollutants Depending on the Origin and Trajectory of Air Masses in the North of Spain. Archivos de Bronconeumología, 53(11), 616–621.

Sindosi, O. A., Markozannes, G., Rizos, E., & Ntzani, E. (2019). Effects of economic crisis on air quality in Ioannina, Greece. Journal of Environmental Science and Health, Part A, 1-14.

Tellaetxe, U., Carslaw D.C. (2014). Conditional bivariate probability function for source identification Environmental Modelling & Software 59 (0), 1-9

Yu, S., Yin, S., Zhang, R., Wang, L., Su, F., Zhang, Y., & Yang, J. (2019). Spatiotemporal characterization and regional contributions of O_3 and NO_2: An investigation of 2 years of monitoring data in Henan, China. Journal of Environmental Sciences. doi:10.1016/j.jes.2019.10.012

Zeng, Y.-R., Chang, Y. S., & Fang, Y. H. (2019). Data Visualization for Air Quality Analysis on Bigdata Platform. International Conference on System Science and Engineering (ICSSE). doi:10.1109/icsse.2019.8823437

Zheng, P., Wang, J., Zhang, Z., Shen, P., Chai, P., Li, D., Chen, K. (2017). Air pollution and hospital visits for acute upper and lower respiratory infections among children in Ningbo, China: A time-series analysis. Environmental Science and Pollution Research, 24 (23), 18860-18869.

Alüminyum Kompozit Sandviç (AKS) Panellerin Döşeme Olarak Kullanımının Maliyet Analizi

Özgül DEMİRAĞ*[1,a], Ertekin ÖZTEKİN[2,b]

[1]*Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Mimari Restorasyon Programı, 29000, Gümüşhane*

[2]*Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 29000, Gümüşhane*

Öz

Geçmişten günümüze depremlerin yapılarda özellikle konutlarda meydana getirdiği kayıplar, yapıların deprem etkilerine daha dayanıklı hâle getirilmesine ilişkin ihtiyacı ortaya koymuştur. Yapısal tasarımda, yapı kütlesini azaltmaya yönelik uygulamalar deprem kaynaklı hasarları azaltmak veya önlemek için etkili seçenekler olarak görülebilir. Günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan kompozit malzemeler ağırlığın azaltılmasına yönelik uygulamalarda da yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı, kompozit malzemelerin özel bir türü olan sandviç kompozitlerin kullanımı ile yapı ağırlığının azaltılması sonucu ortaya çıkacak fayda ve maliyetlerin değerlendirilmesinin yapılmasıdır. Bu amaçla 10 katlı, betonarme perdeli çerçeve sistemli ve betonarme döşemeli yapı ile betonarme perdeli çerçeve sistemli ve alüminyum köpük sandviç (AKS) panel döşemeli yapı; çelik çaprazlı çerçeve sistemli ve kompozit döşemeli yapı ile çelik çaprazlı çerçeve sistemli ve AKS panel döşemeli yapıların metraj ve maliyet hesapları verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, AKS panel döşeme sistemlerinin, dayanım, hafiflik, ısıl ve akustik yalıtım gibi üstün özellikleri ile üretim teknoloji ve tekniklerinin hızla gelişimi ile mevcut döşeme sistemlerine alternatif olacağını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Döşeme sistemleri, Kompozit malzeme, Maliyet analizi, Taşıyıcı sistem.

1.Giriş

Döşemeler, deprem gibi yatay ve düşey yükleri yapının düşey taşıyıcı elemanlarına ileten; yapıları katlara ayırmak, mekân oluşturmak gibi işlevleri olan yapısal elemanlardır. İnşa edildikleri malzemelerine göre betonarme, ahşap ve kompozit döşemeler olarak sınıflandırılabilirler. Betonarme yapılarda çalışma prensipleri ve mesnetlenme özelliklerine göre kirişli plak döşemeler, kirişsiz plak döşemeler ve dişli döşeme türünde döşemeler kullanılmaktadır. Döşeme terimi kirişli ve kirişsiz döşemelerde yalnızca döşeme plağını, dişli döşemelerde ise dişlerle birlikte döşeme plağını ifade eder. Çelik konstrüksiyonlu yapılarda ise çelik kirişler üzerine döşenmiş trapez sac ve donatılı betondan meydana gelen kompozit döşeme uygulamaları mevcuttur (Doğangün, 2012; Topçu, 2019; Yorgun, 2002).

Yapı tasarımında; emniyet, maliyet, işlevsellik ve estetik dikkat edilmesi gereken hususlardır. Yapılara etki eden deprem kuvvetleri yapı kütlesine bağlı olup yapı kütlesinin büyük bir kısmı döşemeler tarafından kaynaklanır. Seçilen döşeme sistemi; yapının işlevselliği, estetiği ve ayrıca maliyeti üzerinde doğrudan etkilidir. Bu yönleriyle döşemeler inşaat mühendisliği açısından ayrı bir öneme sahiptir.

Her ne kadar tasarım ve projelendirme esnasında her bir kriter göz önünde bulundurulması gerekse de tüm bu şartların aynı anda veya aynı oranda sağlanması pratikte mümkün değildir. Bazı döşeme sistemleri tasarımında emniyet ön plana çıkarken bazı tasarımlarda da maliyet ya da estetik kaygı dikkat çeker. Optimum tasarım yapmak adına yeni yapım teknikleri ve yapı malzemeleri kullanımı söz konusudur.

İki veya daha fazla bileşenin bir arada kullanılmasıyla oluşturula kompozit malzemeler; yüksek kimyasal ve mekanik dayanım, hafiflik, uzun ömür, korozyon direnci gibi üstün özellikleri ile sanayide yaygın bir kullanımı vardır. Taşıyıcı konstrüksiyon, dış ve iç cephe kaplamaları,

dekoratif uygulamalar, çatı kaplama levhaları ve çatı detay profilleri, taşıyıcı profiller, yağmur suyu taşıma sistemleri, muhtelif amaçlı yalıtım işleri, beton kalıpları, prefabrik binalar, köprüler, su tankları, mazgal olukları, yeraltı boruları, rasathane kubbeler vb. kompozit malzemelerin inşaat sektöründeki uygulama alanlarına örnektir (Uygur ve Saruhan, 2004; Uygur, 1999; Evert ve Arsenault, 1991; Kaya, 2016). Kompozit malzemeler, çoğunlukla çekirdek olarak adlandırılan takviye elemanı ve bu takviye elemanını çevreleyen matristen oluşur. Kompozit malzemeler için genellikle kendisini oluşturan bu iki bileşene göre tabakalı ve parçacık takviyeli kompozit malzemeler olarak sınıflandırılır. Tabakalı kompozitler, yüksek mukavemet ile birlikte hafiflik, yüksek ısı ve korozyon dayanımı gibi özelliklere sahiptirler.
Bu çalışmada, günümüzde kullanılmakta olan betonarme kirişli plak ve çelik kompozit döşemelere alternatif olarak tabakalı bir kompozit olan Alüminyum Köpük Sandviç (AKS) panellerin döşeme olarak kullanımının olumlu ve olumsuz yönleri, maliyet farkları araştırılmıştır.

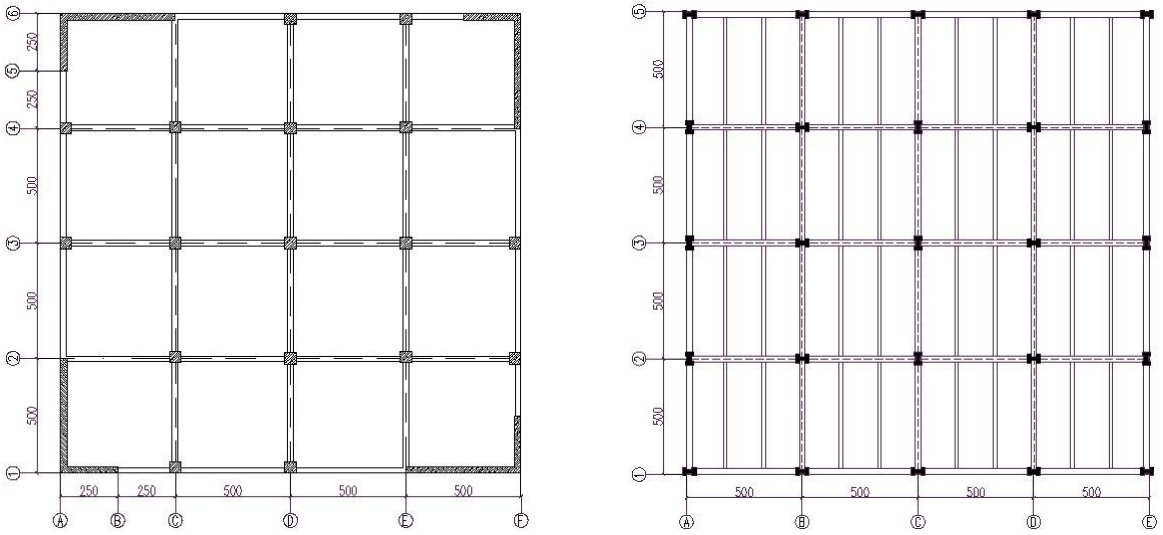
2. Malzeme ve Yöntem

Döşeme sistemlerinin değişimiyle oluşacak maliyet farkının ortaya konulması için güncel yönetmeliklere ve standartlara uygun olacak şekilde 10 katlı yapı modelleri tasarlanmıştır (TBDY-2018, ÇYTHYE-2016, TS500-2000 ve TS 708-2016). Taşıyıcı sistemleri betonarme perde-çerçeve ve çelik çaprazlı çerçeveden oluşan bina modellerine betonarme plak, çelik kompozit ve AKS plak döşeme sistemleri ayrı ayrı uygulanmıştır. Bu şekilde 4 adet bina sonlu elemanlar analizi yapan (Sap2000 V20.2.0 Öğrenci Sürümü) programda modellenmiştir. Model özellikleri ve adlandırılmaları Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Model adlandırmaları

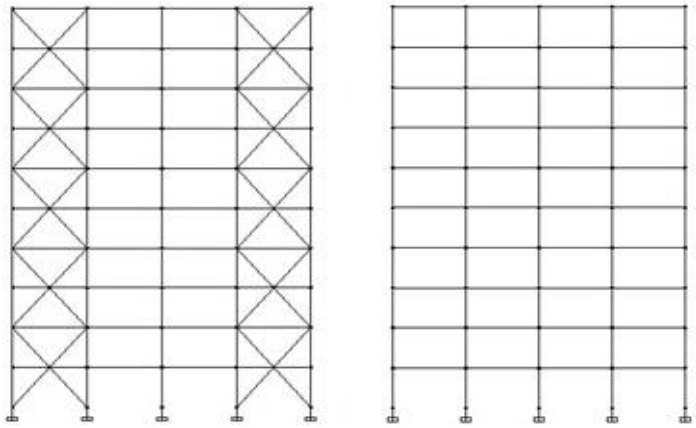
Kısaltma Kodu	Taşıyıcı Sistem	Kat Sayısı	Döşeme Sistemi
BBP-10	Betonarme (Perde+Çerçeve)	10	Betonarme Kirişli Plak
BAP-10	Betonarme (Perde+Çerçeve)	10	AKS Plak Döşeme
CBP-10	Çelik (Çapraz+Çerçeve)	10	Kompozit Döşeme
CAP-10	Çelik (Çapraz+Çerçeve)	10	AKS Plak Döşeme

Döşeme planları Şekil 2.1.'de verilen yapı modellerinin kat alanı 20.00 m x 20.00 m = 400.00 m^2 ve kullanım amacı konut olarak seçilmiştir. Tüm yapı modellerinde kat yüksekliği sabit 3.00 m olup x ve y yönünde 5 m uzunluğunda 4 açıklıktan oluşmaktadır. **Betonarme yapıların** taşıyıcı sisteminde, kolonlar kare, perdeler poligon ve kirişler dikdörtgen şeklinde oluşturulmuştur. Çelik yapı modellerinde ise her iki doğrultudaki yatay yük taşıyıcı sistemi, süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçevelerden oluşturulmuştur. Taşıyıcı sistem elemanları; kolon, kiriş ve ikincil kirişler için I kesitli, çaprazlar için kare kutu kesitli profiller tercih edilmiştir. Tasarlanan yapı modellerine ait çerçeve görünüşleri Şekil 2.2.'de, üç boyutlu görünüşleri ise Şekil 2.3.'de verilmiştir.



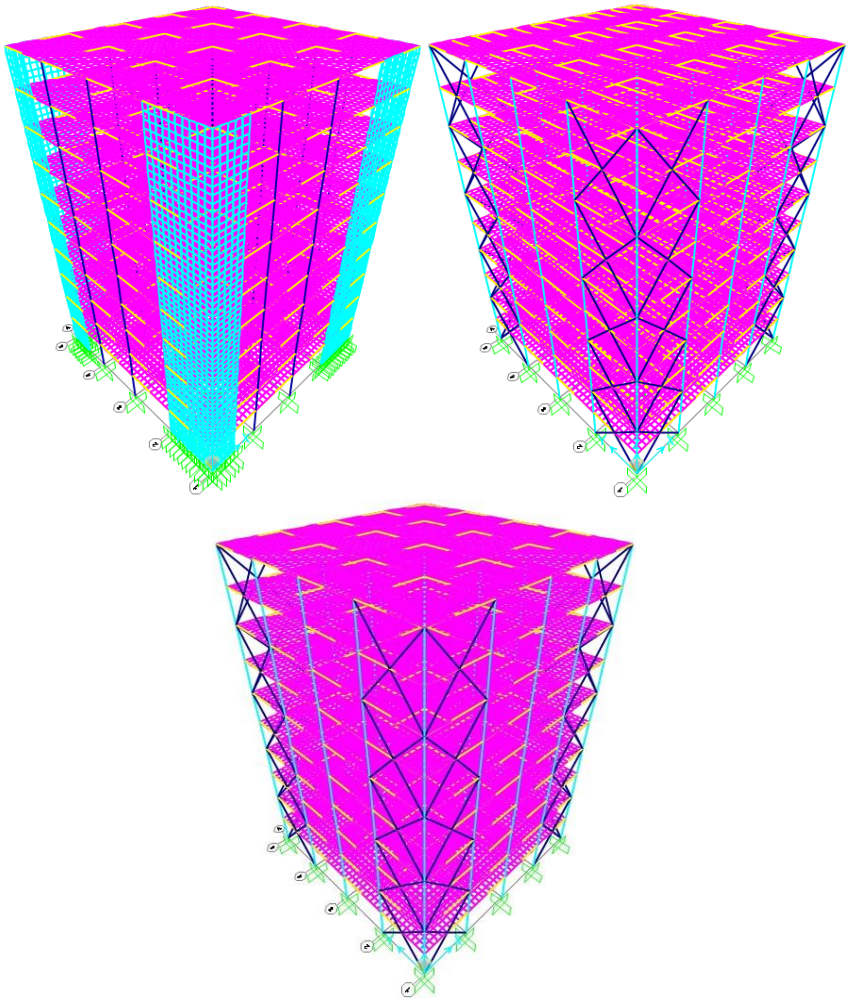
(a) (b)

Şekil 2.1. BBP-10 ve BAP-10'a (a) ve CBP-10 ve CAP-10'a ait kat planı (b)



(a) (b)

Şekil 2.2. CBP-10 ve CAP-10'a ait A aksı çerçevesi (a) B aksı çerçevesi (b)



(a) (b) (c)

Şekil 2.3. BBP-10 ve BAP-10'a (a), CBP-10'a (b) ve CAP-10'a (c) ait üç boyutlu görünüş

Betonarme yapı modellerinde C35 sınıfı beton ve B420C sınıfı donatı; çelik yapı modellerinde ise S275 sınıfı yapı çeliği kullanılmıştır. C35 betonunun, B420C sınıfı donatının ve S275 cinsi çeliğin tasarım ve hesaplarda kullanılan mekanik özellikleri sırasıyla Tablo 2.2.'de belirtilmiştir (TS500-2000, TS 708-2016 ve ÇYTHYE-2016).

Tablo 2.2. C35 betonunun, B420C sınıfı donatı ve S275 sınıfı çeliğin mekanik özellikleri (TS500-2000 ve TS 708-2016)

	Özellik	**Değer**
C35	Elastisite modülü, E_c (MPa)	33 000
	Poisson oranı, ν_c	0.20
	Birim hacim ağırlığı, γ_c (kN/m³)	25
	Karakteristik basınç dayanımı, f_{ck} (MPa)	35
	Isıl genleşme katsayısı, α_t (1/°C)	10^{-5}
B42	Elastisite modülü, E_s (GPa)	200
	Poisson oranı, ν_s	0,30
ç		

	Karakteristik akma dayanımı, f_{yk} (MPa)	420
	Kopma dayanımı, f_{su} (MPa)	483
	Isıl genleşme katsayısı, α_t (1/°C)	$1.2x10^{-5}$
S 275	Elastisite modülü, E_s (GPa)	200
	Poisson oranı, ν_s	0.30
	Birim hacim ağırlığı, γ_s (kN/m³)	78.5
	Akma dayanımı, f_y (MPa)	275
	Çekme dayanımı, f_u (MPa)	430
	Isıl genleşme katsayısı, α_t (1/°C)	$1.2x10^{-5}$

BAP-5 modelinin döşemeleri Pohltec® Metalfoam GmbH (Köln, Almanya) tarafından üretilen AKS panel (AFS J-30/2) ile tasarlanmıştır. AKS panel iki adet sac levhadan (kaplama sacları) ve alüminyum köpük çekirdekten oluşmaktadır. Kaplama saclarının malzemesi 6082 alüminyum alaşım ve çekirdeğin malzemesi 0.15 göreceli yoğunluğa sahip $AlMg_3Si_6$ köpüktür. AKS panelin kaplama tabakaları ve köpük çekirdek birbirine yapıştırıcı olmadan birleştirilmiştir. Şekil 2.4.'de AKS panel gösterilmektedir (Raeisi vd., 2019).



Şekil 2.4. Alüminyum köpük sandviç panel (Raeisi vd., 2019)

Raeisi vd.'nin AKS panel örnekleri ile yapmış oldukları deneysel ve sayısal çalışma dikkate alınarak da malzemeye ait mekanik özellikler kabul edilmiştir. Bu özellikler Tablo 2.3.'de belirtilmiştir (Raeisi vd., 2019).

Tablo 2.3. Alüminyum köpük sandviçin mekanik özellikleri (Raeisi vd., 2019)

Özellik	Değer
Elastisite modülü, E (GPa)	5.58
Poisson oranı, ν	0.3
Birim hacim ağırlığı, γ (kN/m³)	6.675

Yapı analizinde döşemelere etkiyecek olan düşey hareketli yük değeri TS-498 esas alınarak belirlenmiştir. Yapıların türü konut olduğundan döşeme üzerine çatı katı için 1.5 kN/m^2 ve diğer

katlarda 2 kN/m^2'lik hareketli yük atanmıştır. Duvar yükü kirişler üzerine etkitilmiş ve dış cephe ile iç cephe duvarlarından gelen yük sırasıyla 4 kN/m ve 3 kN/m olarak alınmıştır.
Yapı süneklik düzeyi yüksek sistem olarak tasarlanmış olup binaların konumunun Bağlarbaşı Mahallesi, Gümüşhane ve yerel zemin sınıfının ZB olduğu kabul edilmiştir. Tasarım spektral ivme katsayıları, (S_{DS}) 0.390 ve (S_{D1}) 0.122 olarak kullanılmıştır. Yatay elastik tasarım spektrumu; (T_A) 0.063 s ve (T_B) 0.314 s olarak belirlenmiştir.
Betonarme taşıyıcı sistemli yapıların projelendirilmesinde, TS-500 ve TBDY-2018 dikkate alınarak düşey yükler ve deprem yüklerinin ortak etkisinden oluşan yük kombinasyonları oluşturulmuştur. Yapıya etkiyen herhangi bir kar yükü, rüzgâr yükü, toprak yükü, akışkan basıncı ve sıcaklık yükü bulunmadığından, bu yükler kombinasyonlara dahil edilmemiştir. Çalışma kapsamındaki çelik yapı modellerinde düşey yükler ile yatay deprem ve rüzgâr kuvvetleri etkindir. Yapısal analizlerde TBDY-2018 ve ÇYTHYE-2016'ya uygun YDKT yöntemi esas alınarak oluşturulan yük birleşimleri kullanılmıştır.
Çalışma kapsamındaki yapı modellerine ait taşıyıcı sistem elemanları TS500-2000, TBDY-2018 ve ÇYTHYE-2016 yönetmelikleri esas alınarak yapılmıştır. Bu şartlar doğrultusunda, bütün betonarme yapı modelinde kiriş boyutları tüm katlarda 250 mm x 500 mm olarak seçilmiştir. Çelik yapı modellerinde ise kirişler için IPE270 ve ikincil kirişler için ise IPE220 profili kullanılmıştır. BBP-10 ve BAP-10 modellerindeki kolonlar için bu şartlara ek olarak eksenel yükler ve deprem kuvvetinden dolayı binalara etkiyecek en büyük normal kuvvet de göz önünde bulundurularak tek bir kolon kesiti kullanılmıştır. CBP-10 ve CAP-10 yapı modelleri için en elverişsiz yüklemelere göre kolonlar tasarlanmış ve boyutlandırılmıştır. Yapılarda tüm katlarda kolon ve kiriş en kesitleri değişmemiştir. Tablo 2.4'de her bir modelde kullanılan kolon en kesitleri verilmiştir.

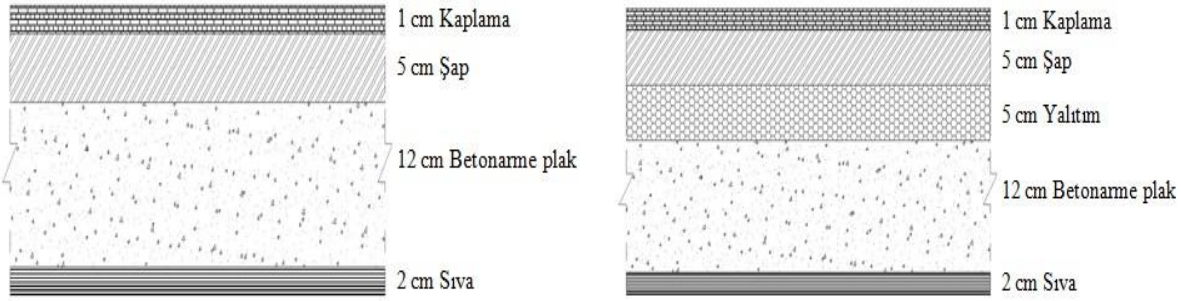
Tablo 2.4. Kolon en kesitleri

Model	Kolon Adı	Kolon En Kesiti
BBP-10 ve BAP-10	Tüm Kolonlar	500 mm x 500 mm
CBP-10 ve CAP-10	Köşe Kolonlar	HE200M
	Kenar Kolonlar	HE220M
	İç Kolonlar	HE240M

Betonarme modellerde TS500-2000 ve TBDY-2018'de verilen perdelerin hesap ve tasarımıyla ilgili hususlar dikkate alınarak perde kalınlığı 300 mm olarak seçilmiştir. L tipi perdelerin daha fazla kesme kuvveti aldığı ve köşe yerine köşeye yakın planlandığında karşıladığı kesme kuvvetinin arttığı için perdeler L en kesitli tercih edilmiştir (Kasap ve Özyurt, 2012). Çelik yapı modellerinde ise çaprazlar, ÇYTHYE-2016'daki kullanılabilirlik sınır durumları göz önünde bulundurularak boyutlandırılmıştır. Yapıda tüm katlarda Tubo80x80x7.1 profili kullanılmıştır.
Çalışmada betonarme yapılardaki tüm döşemeler çift doğrultuda çalışan döşemelerdir. Kirişli plak sistem, TS-500'de yer alan sehim ve açıklık şartları ile TBDY-2018'deki betonarme döşemelerin eksenel yük, kayma ve eğilme etkisi altında etkin kesit rijitlik çarpanlarının 0.25 olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Çelik yapı modellerinde ilgili yönetmeliklerce belirlenen düşey yerdeğiştirmelerin (sehimlerin)/açıklık sınırlarına dikkat edilmiştir. Tüm katlarda döşeme kalınlıkları sabit olup hesap kolaylığı açısından, asansör, merdiven ve hava bacası boşlukları hesaba katılmamıştır. Yapı modellerine döşeme kalınlıkları Tablo 2.5.'de ve normal kat ile çatı katı döşeme kesitleri Şekil 2.5., Şekil 2.6, Şekil 2.7.'de verilmiştir.

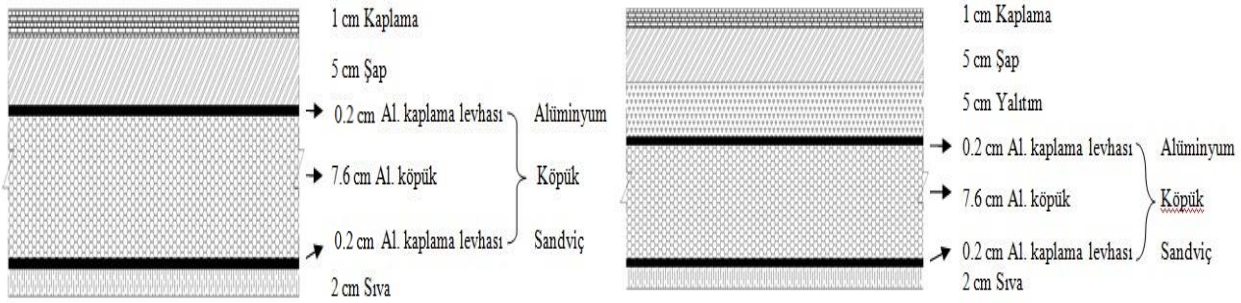
Tablo 2.5. Döşeme kalınlıkları

Model	Döşeme kalınlığı, h_f (mm)
BBP-10	120
BAP-10	80
CBP-10	70
CAP-10	80



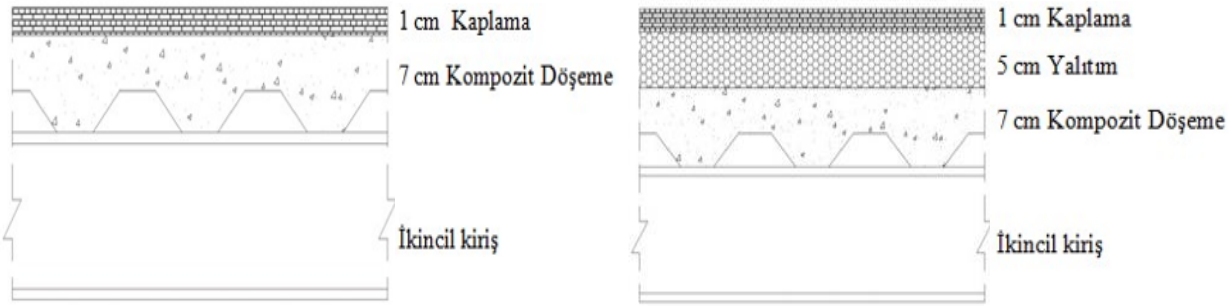
(a) (b)

Şekil 2.5. BBP-10'a ait normal kat (a) ve çatı katı (b) döşeme kesiti



(a) (b)

Şekil 2.6. BBP-10 ve CAP-10'a ait normal kat (a) ve çatı katı (b) döşeme kesiti



(a) (b)

Şekil 2.7. CBP-10'a ait normal kat (a) ve çatı katı (b) döşeme kesiti

Kolon, kiriş ve döşeme gibi taşıyıcı elemanların boyutları ön boyutlandırma aşamasında yaklaşık olarak seçilmiş olup yapılan iterasyon ve çözümlemelerle kesin boyutlar elde edilmiştir. Sap2000

programında, kolon ve kirişler çubuk eleman, perde ve döşemeler ise kabuk eleman olarak tanımlanmıştır.

3. Bulgular ve İrdeleme

Bu bölümde, tasarım ve boyutlandırılması yapılan betonarme ve çelik yapı modellerine ait malzeme metrajları ve maliyet hesapları verilmiştir. Yapılan metraj sonucunda elde edilen değerler, üretim aşamasında meydana gelecek malzeme kayıpları dikkate alınarak toplam malzeme miktarı kabul edilmiştir.

İş kalemlerinin birim fiyatları en ekonomik olacak şekilde Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından belirlenen birim fiyatlar ve piyasada hizmet veren çeşitli firmaların birim fiyatları esas alınarak belirlenmiştir (ÇŞB, 2021). Betonarme ve çelik yapı metraj ve maliyet değerleri sırasıyla Tablo 3.1., Tablo 3.2., Tablo 3.3. ve Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.1. BBP-10 modeli metraj ve maliyet değerleri

	İş kalemi	Miktarı	Birim fiyatı	Tutarı (TL)
Kolon	Betonarme demiri (ton)	10	7354.10	73541
	C35 sınıfı beton (m^3)	127.5	310.69	39612.98
Kiriş	Betonarme demiri (ton)	6.48	7354.10	47654.57
	C35 sınıfı beton (m^3)	212.5	310.69	66021.62
Perde	Betonarme demiri (ton)	21.2	7354.10	155906.92
	C35 sınıfı beton (m^3)	270	310.69	838863
Döşeme	Betonarme demiri (ton)	19.2	7354.10	141198.72
	Betonarme kalıbı (m^2)	4000	82.78	331120
	Şap (m^2)	4000	37.55	150200
	C35 sınıfı beton (m^3)	480	310.69	149131.2
	Seramik kaplama (m^2)	4000	92.18	368720
	Sıva (m^2)	4000	56.86	227440
	Yalıtım (m^2)	4000	52.33	209320

BBP-10 yapı modelinin maliyeti yaklaşık olarak 2798730.01 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.2. BAP-10 modeli metraj ve maliyet değerleri

	İş kalemi	Miktarı	Birim fiyatı	Tutarı (TL)
Kolon	Betonarme demiri (ton)	10	7354.10	73541
	C35 sınıfı beton (m^3)	127.5	310.69	39612.98
Kiriş	Betonarme demiri (ton)	6.48	7354.10	47654.57
	C35 sınıfı beton (m^3)	212.5	310.69	66021.62

Perde	Betonarme demiri (ton)	21.2	7354.10	155906.92
	C35 sınıfı beton (m^3)	270	310.69	838863
Döşeme	AKS panel (m^2)	4000	401,25	1605000
	Seramik kaplama (m^2)	4000	92.18	368720
	Sıva (m^2)	4000	56.86	227440
	Yalıtım (m^2)	4000	52.33	209320

BAP-10 yapı modelinin maliyeti yaklaşık olarak 3792888.64 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.3. CBP-10 modeli metraj ve maliyet değerleri

	İş kalemi	**Miktarı**	**Birim fiyatı**	**Tutarı (TL)**
Kolon	Çelik profil (ton)	96.87	11226.28	1087489.74
Kiriş	Çelik profil (ton)	72.2	7727.91	810537.42
Çapraz	Çelik profil (ton)	9.5	7727.91	106649.66
Döşeme	Çelik hasır donatı (ton)	11.6	7590.63	88051.31
	Kayma çivisi (adet)	6000	10	60000
	Galvanizli trapez sac (m^2)	4000	114.71	458840
	Şap (m^2)	4000	37.55	150200
	C35 sınıfı beton (m^3)	480	310.69	149131.2
	Seramik kaplama (m^2)	4000	92.18	368720
	Asma tavan (m^2)	4000	126.25	505000
	Tali kiriş (ton)	41.92	7727.91	323953.99
	Yalıtım (m^2)	4000	52.33	209320

CBP-10 yapı modelinin maliyeti yaklaşık olarak 4317893.32 TL olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.4. CAP-10 modeli metraj ve maliyet değerleri

	İş kalemi	**Miktarı**	**Birim fiyatı**	**Tutarı (TL)**
Kolon	Çelik profil (ton)	96.87	11226.28	1087489.74
Kiriş	Çelik profil (ton)	72.2	7727.91	810537.42
Çapraz	Çelik profil (ton)	9.5	7727.91	106649.66

Döşeme	AKS panel (m^2)	4000	401.25	1605000
	Seramik kaplama (m^2)	4000	92.18	368720
	Sıva (m^2)	4000	56.86	227440
	Yalıtım (m^2)	4000	52.33	209320

CAP-10 yapı modelinin maliyeti yaklaşık olarak 4415156.82 TL olarak hesaplanmıştır. Yapılara ait toplam maliyetleri oranladığımızda BBP-10 modeli yerine BAP-10 modeli yaklaşık %35 oranında daha fazladır. CBP-10 modeli yerine CAP-10 modeli tercih edilirse yaklaşık olarak %2.25 oranında maliyet artışı söz konusu olmaktadır.

4. Sonuçlar

AKS panellerin bina türü yapılarda döşeme olarak kullanılmasına ilişkin maliyet farkının araştırıldığı bu çalışmada gerçekleştirilen tasarımlar ve bunlara bağlı olarak yapılan metraj ve maliyet değerlerinden elde edilen sonuçlardan çıkarılabilecek bazı sonuç ve öneriler aşağıdaki gibidir.

AKS plak döşemelerin ilk yapım maliyetinin yüksek olması dezavantaj gibi görünse de sahip oldukları dayanım, hafiflik, ısı yalıtımı, ses yalıtımı gibi özellikleri ile üretim teknoloji ve tekniklerinin hızla gelişmekte olduğu düşünülecek olursa AKS plak döşemelerin kullanılmakta olan betonarme plak ve çelik kompozit döşemelere alternatif olarak kullanılabileceği öngörülmektedir.

Bu çalışmada ele alınan betonarme ve çelik yapı modellerinde döşemeler haricindeki tüm taşıyıcı sistem elemanları kendi içlerinde aynı boyutlarda tasarlanmıştır. Böylelikle günümüzde yaygın olarak kullanılan döşeme sistemleri ile AKS panel döşeme sistemi arasındaki maliyet farkı vurgulanmak istenmiştir. Ancak çalışmadaki betonarme ve çelik yapı modellerine ait perde, çapraz ve çerçeve boyutları esas alınmış olsa da AKS kompozitlerin sahip oldukları yüksek mukavemet/hafiflik özellikleri ile taşıyıcı sistem elemanları için daha küçük boyutlar seçilebilir. Ayrıca toplam yapı yükünün azalmasıyla zemin gerilmelerinin kritik seviyelere ulaştığı yapılarda zemin iyileştirmesine gerek kalmadan veya temel sisteminin daha maliyetli bir sisteme (kazıklı temel sistemi vs.) çevirmeden yükler taşıtılabilir. Bu durumun AKS plak döşeme sistemli yapıların maliyetini daha da düşüreceği ve onları daha avantajlı hale getireceği açıktır. Bununla birlikte üretim teknoloji ve tekniklerinin gelişmesi inşaat sektöründen gelecek büyük talep ile seri üretim yapan tesislerin kurulması AKS panel döşemelerin daha da ekonomik bir biçimde üretilmesine ve kullanılmasına olanak tanıyacağı düşünülmektedir.

5. Kaynakça

Celep, Z., 2011. Betonarme Yapılar, Beta Dağıtım, İstanbul.

ÇHTHYE, 2016. Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar, T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Doğangün, A., 2012. Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 215s.

Kasap, H. ve Özyurt, M., 2012. Perde en kesit şeklinin ve planda perde yerinin değişmesinin, perdeler ve çerçeveler arasındaki kesme kuvveti dağılımına etkisi, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 6, 1, 59-66s.

Evert, R. K., ve Arsenault, R.J., 1991. İn Metal Matrix Composites; Mechanism and Properties, Academic Press Inc., San Diego, USA, p.262.

Topçu, A., (2019, 10 Ekim). Döşemeler, http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/index_dosyalar/Dersler/Betonarme2/Sunular/Betonarme_2_5.pdf.

TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2021, 2021 Yılı İnşaat Genel Fiyat Analizleri, Ankara.

TS-498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS-500, 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 708, 2016. Çelik - Betonarme için - Donatı çeliği, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Uygur, İ. 1999. Environmentally Assisted Fatigue Response of Al-Cu-Mg-Mn with SiC Particulate Metal Matrix Composites, Ph.D. Thesis, University of Wales, Swansea.

Uygur, İ., Saruhan, H., 2004. Alüminyum Esaslı Metal Matris Kompozit Malzemelerin Mekanik Özeliikleri, SAU Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8, 1, 167-174s.

Yorgun C. 2002. Kompozit Döşemeler, Türk Yapısal Çelik Derneği Yayınları.