



T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

e-ISSN : 2630 - 5712



ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ

JOURNAL OF ENGINEERING AND ARCHITECTURE FACULTY
OF ESKİŞEHİR OSMANGAZİ UNIVERSITY



YIL/YEAR : 2024

CİLT/VOLUME : 32

SAYI/ISSUE : 3



**T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZI ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ**

e-ISSN : 2630 - 5712



SAHİBİ / OWNER

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Adına
Prof. Dr. Haldun KURAMA
Dekan

EDİTÖR / EDITOR IN CHIEF

Prof. Dr. Haldun KURAMA (hkurama@ogu.edu.tr)

EDİTÖR YADIMCISI / ASSOCIATE EDITOR

Prof. Dr. Melih İPHAR (miphar@ogu.edu.tr)

ALAN (BÖLÜM) EDİTÖRLERİ / AREA EDITORS

Bölüm / Department	Adı ve Soyadı / Name
Bilgisayar Mühendisliği Computer Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Esra N. YOLAÇAN yolacan@ogu.edu.tr
Biyomedikal Mühendisliği Biomedical Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Sultan BÜTÜN ŞENGEL sultanbutun.sengel@ogu.edu.tr
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Electrical-Electronics Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DINDİŞ gdindis@ogu.edu.tr
Endüstri Mühendisliği Industrial Engineering	Doç. Dr. Feriştah ÖZÇELİK fdurmaz@ogu.edu.tr
İnşaat Mühendisliği Civil Engineering	Doç. Dr. Hakan ÖZBAŞARAN ozbasaran@ogu.edu.tr
Jeoloji Mühendisliği Geology Engineering	Prof. Dr. Selahattin KADİR skadir@ogu.edu.tr
Kimya Mühendisliği Chemical Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Uğur SELENGİL uselen@ogu.edu.tr
Maden Mühendisliği Mining Engineering	Prof. Dr. Sabiha KOCA skoca@ogu.edu.tr
Makine Mühendisliği Mechanical Engineering	Prof. Dr. Haydar ARAS haras@ogu.edu.tr
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Metallurgical and Materials Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Ersu LÖKÇÜ elokcu@ogu.edu.tr
Mimarlık Architecture	Doç. Dr. Başak GÜÇYETER basakgucyeter@gmail.com
Uçak Mühendisliği Aeronautical Engineering	Prof. Dr. Melih KUŞHAN mkushan@ogu.edu.tr
Yazılım Mühendisliği Software Engineering	Dr. Öğr. Üyesi İlker ÖZÇELİK ilker.ozcelik@ogu.edu.tr



ÖN DEĞERLENDİRME / PRE-CONTROL

Bölüm	Adı ve Soyadı
Bilgisayar Müh. / Computer Engineering	Araş. Gör. Dr. Zuhal TEPECİK CAN zcan@ogu.edu.tr
Biyomedikal Mühendisliği/Biomedical Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Yapıncak GÖNCÜ yapincak.goncu@ogu.edu.tr
Elektrik ve Elektronik Müh. / Electrical-Electronics Engineering	Araş. Gör. Dr. İpek ÇETİNBAŞ ipekcetinbas@ogu.edu.tr
Endüstri Müh. / Industrial Engineering	Araş. Gör. Aslıhan KARAŞ aslihan.karas@ogu.edu.tr
İnşaat Müh. / Civil Engineering	Dr. Öğr. Üyesi Meltem ERYILMAZ YILDIRIM meryilmaz@ogu.edu.tr
Jeoloji Müh. / Geology Engineering	Araş. Gör. Duru CESUR daral@ogu.edu.tr
Kimya Müh. / Chemical Engineering	Araş. Gör. Fırat YILMAZ firat.yilmaz@ogu.edu.tr
Maden Müh. / Mining Engineering	Araş. Gör. Dr. Işıl KILIÇKAPLAN TOKCAN ikilickaplan@ogu.edu.tr
Makine Müh. / Mechanical Engineering	Araş. Gör. Hakan SERTEL hsertel@ogu.edu.tr
Metalurji ve Malzeme Müh. / Metallurgical and Materials Engineering	Araş. Gör. Dr. Işın AKAY ERDOĞAN iakay@ogu.edu.tr
Mimarlık/Architecture	Doç. Dr. Nazife Aslı KAYA ÜÇÖK nasli.kayaucok@ogu.edu.tr
Uçak Mühendisliği/Aeronautical Engineering	Prof. Dr. Melih KUŞHAN mkushan@ogu.edu.tr
Yazılım Mühendisliği/Software Engineering	Araş. Gör. Sergen AŞIK sergen.asik@ogu.edu.tr



YAYIN KURULU / PUBLISHING EDITORS

Adı ve Soyadı / Name	Bölüm / Department
Prof. Dr. Haldun KURAMA	Editör, ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Melih İPHAR	Editör Yrd., ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Dr. Öğr. Üyesi Esra Nergis YOLAÇAN	ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan DINDİŞ	ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Gültekin ÖZDEMİR	SDÜ Mühendislik Fakültesi Endüstri Mühendisliği Bölümü ISPARTA
Doç. Dr. Cenk KARAKURT	Bilecik Şeyh Edebali Üniv. Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü BİLECİK
Prof. Dr. Selahattin KADİR	ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Nurgül ÖZBAY	Bilecik Şeyh Edebali Üniv. Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü BİLECİK
Prof. Dr. Sabiha KOCA	ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü ESKİŞEHİR
Prof. Dr. Ramazan KÖSE	Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü KÜTAHYA
Dr. Öğr. Üyesi S. Mine TOKER	ESOGÜ Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü ESKİŞEHİR



EDİTÖRLER KURULU / EDITORIAL BOARD

-
- A. Hakan Benzer, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, Türkiye, benzer@hacettepe.edu.tr
Barbara Tora, AGH University of Science and Technology in Kraków, Poland, tora@agh.edu.pl
Buket D. Barkana, University of Bridgeport, Bridgeport, Connecticut, ABD, bbarkana@bridgeport.edu
Cafer Çelik, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye, ccelik@atauni.edu.tr
Cahit Helvacı, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye, cahit.helvaci@deu.edu.tr
Cemal Baykara, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, baykaracem@itu.edu.tr
Cengiz Dünder, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye, dunder@cu.edu.tr
Demircan Canadınç, Koç Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, dcanadinc@ku.edu.tr
Derviş Karaboğa, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, karaboga@erciyes.edu.tr
Emin Çiftçi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, eciftci@gmail.com
Fatemeh Azmandian, Dell EMC Hopkinton, Massachusetts, ABD, fatemeh_azmandian@yahoo.com
Fatih Altun, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Türkiye, faltun@erciyes.edu.tr
Fatih Hocaoğlu, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, Türkiye, hocaoglu@aku.edu.tr
Gürsoy Arslan, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, garslan@anadolu.edu.tr
Habil. Ali Cemal Benim, Duesseldorf University, Duesseldorf, Almanya, alicemal.benim@hs-duesseldorf.de
Hatem Akbulut, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Türkiye, akbulut@sakarya.edu.tr
Kadri Dağdelen, Colorado School of Mines, Colorado, ABD, kdagdelen@mines.edu
L. Antonio Estévez, University of Puerto Rico, Mayaguez, Puerto Rico, antonio.estevez@upr.edu
Manuel Pozo Rodríguez, Universidad Autónoma of Madrid, İspanya, manuel.pozo@uam.es
Mehmet Saltan, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, mehmetsaltan@sdu.edu.tr
Ömer Nezhir Gerek, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Eskişehir, Türkiye, ongerek@eskisehir.edu.tr
Paul A. Schroeder, University of Georgia, ABD, schroe@uga.edu
Rasim İpek, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye, rasim.ipek@ege.edu.tr
Serpil Erol, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, serpiller@gazi.edu.tr
Şadan Kelebek, Queen's University, Kanada, sadan.kelebek@queensu.ca
Şeref Sağıroğlu, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye, ss@gazi.edu.tr
Yasemin Serin, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye, serin@metu.edu.tr
Yüksel Avcıbaşı Güvenilir, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, avcibasi@itu.edu.tr
Zeki Aktaş, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, zaktas@eng.ankara.edu.tr
-



Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, bilim ve teknolojideki son gelişmeleri aktarmak amacıyla;

- ❖ Bilgisayar Mühendisliği
- ❖ Biyomedikal Mühendisliği
- ❖ Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- ❖ Endüstri Mühendisliği
- ❖ İnşaat Mühendisliği
- ❖ Jeoloji Mühendisliği
- ❖ Kimya Mühendisliği
- ❖ Maden Mühendisliği
- ❖ Makine Mühendisliği
- ❖ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- ❖ Mimarlık
- ❖ Uçak Mühendisliği
- ❖ Yazılım Mühendisliği

dallarında; *kuramsal ve uygulamalı araştırma ile tarama* niteliklerinde makaleler yayımlamayı amaçlayan disiplinler arası ve hakemli bir dergidir. Dergi, belirtilen mühendislik branşlarında hızla gelişen alanlarına ilişkin çalışmaları ulaştırmayı amaçlamaktadır.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi ilk olarak **1986 yılında** "Anadolu Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi" olarak yayın hayatına başlamıştır. 1993 ve 2005 yıllarında yapılan isim değişiklikleri sonrasında, üniversitemiz adının "Eskişehir Osmangazi Üniversitesi" olması nedeniyle derginin adı da "Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi" (ISSN: 1301-045x) haline gelmiştir.

Dergi yılda 2 sayı olarak yayımlanmış olup 2012 yılı sonunda yayın hayatına ara vermiştir.

2018 yılından itibaren e-Dergi olarak yayın hayatına tekrar başlamıştır.

Dergi hakkında ayrıntılı bilgiler

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ogummf>

web sayfasında verilmiştir.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi yılda 3 sayı olarak yayımlanmaktadır.

Bu sayılara ek olarak Editörler Kurulu'nun kararıyla, fakültemiz bölümleri tarafında yürütülen bir kongrede sunulan bildiriler "Özel Sayı" olarak yayımlanabilmektedir.

The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University is a multidisciplinary and peer-reviewed journal in engineering. The journal is not limited to a particular aspect of science and engineering, but is instead devoted to a wide range of areas in engineering. The journal aims to publish high quality papers in the areas of:

- ❖ Computer Engineering
- ❖ Biomedical Engineering
- ❖ Electrical-Electronics Engineering
- ❖ Industrial Engineering
- ❖ Civil Engineering
- ❖ Geology Engineering
- ❖ Chemical Engineering
- ❖ Mining Engineering
- ❖ Mechanical Engineering
- ❖ Metallurgical and Materials Engineering
- ❖ Architecture
- ❖ Aeronautical Engineering
- ❖ Software Engineering

This journal publishes original theoretical and empirical research papers as well as review papers and case studies related to these areas of engineering. High quality submissions are welcome from academics, researchers, and practitioners.

The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University was first launched in 1986. After the name of the journal changed in both 1993 and 2005, consequently, the name is "The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University" (ISSN: 1301-045x). The journal was published as 2 issues per year until the end of 2012, then publication of the journal is suspended between 2012-2017.

It has resumed its publication life as an online journal in 2018.

Additional information for the journal is given at web page :

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ogummf>

The Journal of Engineering and Architecture Faculty of Eskişehir Osmangazi University is published as 3 issues per year.

In addition to the regular issues, proceedings of the conferences which are organized by our university are published as special issues depending upon the decision of the Editorial Board.



T.C. ESKİŞEHİR OSMANGAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve MİMARLIK FAKÜLTESİ DERGİSİ



e-ISSN : 2630 - 5712

Dergi, halen, aşağıda verilen indeksler tarafından taranmaktadır.

The journal is currently indexed in the following databases.



[TR Dizin](#)



[SOBIAD](#)



[EBSCO Host](#)



[Index Copernicus](#)



[DOAJ \(Directory of Open Access Journals\)](#)



[BASE](#)



[WorldCat](#)



İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Sayfa

WiMAX UYGULAMALARI İÇİN ÜÇ-BANTLI EŞ DÜZLEMSEL HAT BESLEMELİ MİKROŞERİT DİPOL ANTEN TASARIMI Adnan SONDAŞ	1416 – 1420
POLİPROPİLEN (PP)/KALSİYUM BORAT [CA₃(BO₃)₂]/MALEİK ANHİDRİT AŞILI POLİPROPİLEN (MA-G-PP) POLİMER KOMPOZİTİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ Elif ULUTAŞ, Münir TAŞDEMİR	1421 – 1431
ILGIN SAHASI (KONYA) BİTÜMLÜ KILTAŞI ÇÖKELİMİ HAVZASINDA PALEO-HİDROTHERMAL ÇÖKELME KOŞULLARI, PALEO-HİDRODİNAMİK OLAYLAR VE PALEO-İKLİM İNCELEMELERİ Ali SARI, Kamal ISMAYILZADA, Elif AKISKA, Fuat EROL	1432 – 1447
ALTI ÇUBUKLU BİR ESNEK MEKANİZMA KULLANILARAK ARAÇ YÖNLENDİRME SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ Çağrı Merve TANIK, Raşit KARAKUŞ	1448 – 1458
ÜRETİLEN RÜZGAR ENERJİSİ TAHMİNİNDE HAVA KOŞULU VERİLERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ VE MODELLENMESİ Ege ERGİNEL, Çisil TİMURALP	1459 – 1469
MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE PAYLAŞIMLI BİSİKLET KULLANIMINA AİT TALEP TAHMİNİ: KONYA ÖRNEĞİ Gözde CAN ATASAGUN, Ece YAĞMUR	1470 – 1484
PİSAGOR BULANIK SAYILARA DAYALI CRITIC-MARCOS YÖNTEMİ İLE OTONOM FORKLİFT SEÇİMİ Elif ÇALOĞLU BÜYÜKSELÇUK	1485 – 1499
DEPREM İVME KAYITLARININ ÖLÇEKLENDİRME YÖNTEMLERİNİN ZEMİN SIVILAŞMA POTANSİYELİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ Ersin GÜLER	1500 – 1508
AKPINAR (KIRŞEHİR) YÖRESİ FELDSPAT YATAKLARI VE EKONOMİK ÖNEMİ Hüseyin SENDİR, Cansu YURTSEVEN, Duru CESUR	1509 – 1516
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ TERZİOĞLU YERLEŞKESİNE SÜNGER ŞEHİR KONSEPTİ UYGULANMA POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI Mehmet Anıl KIZILASLAN	1517 – 1525
STOKİYOMETRİK OLMAYAN NBT-ST SERAMİKLERİNİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNE SİNERJİLEME YARDIMCISI CuO KATKISI ETKİSİNİN İNCELENMESİ Gülbeniz YALDIZ İNCE, Mustafa Yunus KAYA	1526 – 1536
TÜRKİYE'DE 2013-2023 YILLARI ARASINDA MAKİNE SEKTÖRÜNDE YAŞANAN İŞ KAZALARININ MALİYET ANALİZİ Mert Can İLGIN, Çisil TİMURALP	1537 – 1546



İÇİNDEKİLER/ CONTENTS

Araştırma Makaleleri / Research Articles

Sayfa

UYGUN SES YALITIM MALZEMESİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK SİMÜLASYON TABANLI YAKLAŞIM Rümeysa TÜRK, Kübra KELLEÇİ, Sevil ÖZER	1547 - 1555
TUNGSTOFOSFORİK ASİTLE MODİFİYE H-BETA ZEOLİT KATALİZÖRLER VARLIĞINDA DİFENİLMETAN SENTEZİ Sema AKYALÇIN, Levent AKYALÇIN, Fatma Hande KESKİN, Çağan SATIR	1556 - 1564
EXAMINING THE EFFECTS OF HIGH-DENSITY HOUSING ON USERS' MENTAL JUDGMENTS Navid KHALEGHIMOĞHADDAM	1565 - 1581
İSTANBUL'DA MİMARLARLIK BÜROLARINDA ÇALIŞAN MİMARLARIN ZAMAN YÖNETİMİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ Ebrar SARAL, Esin KASAPPOĞLU	1582 - 1607

WiMAX UYGULAMALARI İÇİN ÜÇ-BANTLI EŞ DÜZLEMSEL HAT BESLEMELİ MİKROŞERİT DİPOL ANTEN TASARIMI

Adnan SONDAŞ^{1*}

¹ Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Başiskele, Kocaeli,
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-4559-3463>

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Mikroşerit Anten WiMAX uygulamaları Eş düzlemsel hat besleme</i>	<i>Bu çalışma kapsamında WiMAX uygulamaları için 2,6 GHz, 3,5 GHz ve 5,5 GHz bantlarında çalışan eş düzlemsel hat besleme (CPW-fed) yapısına sahip mikroşerit anten tasarımı tanıtılmaktadır. Anten tasarımında 0,79 mm kalınlığındaki dielektrik malzeme (Arlon DiClad 880) kullanılmıştır. Tasarım 32×40 mm² boyutlarındadır. Analizler sonucunda önerilen tasarımın WiMAX frekans-bantlarını tamamen kapsadığı ve dipol benzeri ışıma örüntülerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Önerilen tasarım ilgili bantlarda 2,15 dBi, 2,54 dBi ve 4,37 dBi seviyelerindeki yönlendirme kazançlarına sahiptir. Ayrıca anten performansını etkileyen parametreleri göstermek için bazı analiz sonuçlarına da yer verilmiştir.</i>

TRIPLE-BAND CPW-FEED MICROSTRIP ANTENNA DESIGN FOR WiMAX APPLICATIONS

Keywords	Abstract
<i>Microstrip antenna. WiMAX applications CPW feed</i>	<i>In this study, a microstrip antenna design with a coplanar waveguide feed (CPW-fed) structure operating in 2.6 GHz, 3.5 GHz and 5.5 GHz bands for WiMAX applications is introduced. The analyses at the design stage were carried out using the CST Microwave Studio program. Arlon DiClad 880 with a 0.79 mm thick dielectric material was used in the antenna design. The design has dimensions of 32×40 mm². As a result of the analysis, it has been observed that the proposed design completely covers the WiMAX frequency-bands and has dipole-like radiation patterns. The proposed design has directional gains of 2.15 dBi, 2.54 dBi and 4.37 dBi in the respective bands. In addition, the results of the parametric study for the antenna are also included.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 22.08.2023	Submission Date : 22.08.2023
Kabul Tarihi : 15.08.2024	Accepted Date : 15.08.2024

* Sorumlu yazar: masondas@kocaeli.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1348059>

1. Giriş

Kablosuz iletişim teknolojisinin yaygınlaşması ile birlikte dünya çapında uyumun sağlanması için WiMAX frekans bantları (2.5–2.69 / 3.4–3.69 / 5.25–5.825 GHz) (Chen, Yang, Yin, Fan, ve Wu, 2013) tercih edilmektedir. Bunun sonucu olarak ta ilgili cihazlarda geniş-bantlı veya çoklu-bant performanslı antenlerin kullanımına ihtiyaç vardır. Minyatür boyutları, yüzey uyumlulukları, düşük maliyetleri ve üretimlerinin kolay olması nedeni ile mikroşerit antenler ilgili cihaz tasarımlarında oldukça fazla tercih edilmektedirler (Sondaş, 2011, Dogusgen Erbas, 2022). Tasarım üzerinde yapılan küçük oynamalar sayesinde mikroşerit antenlerden doğrusal veya dairesel kutuplanmış ışıma karakteristiği de elde edilebilirken, aynı zamanda çoklu-bant performansı da elde edilebilmektedir (Dogusgen Erbas, 2022).

Çoklu-bant performansı elde edebilmek için besleme hattına veya yer düzlemine çeşitli boyutlarda ve farklı şekillerde yüklemeler bağlanmaktadır. Bu yüklemeler T-şekilli (Kuo ve Wong, 2003, Kshetrimayum, 2009), U-şekilli (Koo, Kim, Ryu, Kim ve Yook, 2011, Lee, Kim, Park ve Kim, 2009), dikdörtgen şekilli (Vasu ve Sreeja, 2023, Alam, Azim, Sobahi, Khan ve Islam, 2022) veya halka şekilli (Yu ve Liu, 2017, Tang, Liu, Yin ve Lian, 2015) olabilir. Literatürde yakın zamanda sunulmuş olan üç-bantlı anten tasarımları Tablo 1'de özetlenmiştir.

Bu çalışmada, WiMAX uygulamaları için tasarlanmış olan eş düzlemsel hat beslemeli üç-bantlı mikroşerit dipol anten yapısı tanıtılmaktadır.



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

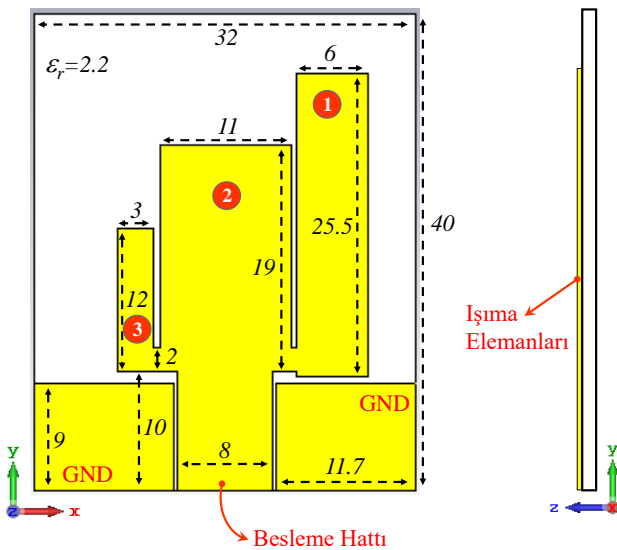
This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Tablo 1. Literatürde Sunulmuş Olan Üç-Bantlı Anten Tasarımları Karşılaştırılması

Çalışma	Boyutlar (mm ³)	Dielektrik Malzeme	Çalışma Bandı	Bant Genişliği (MHz)
(Baytore, Gocen, Palandoken, Kaya ve Zoral, 2019)	20×30×0.5	Copper	2.45, 3.5 ve 5.5 GHz	158 & 170 & 1080
(Ye, Zu, Hu, Xin, Guo, Song ve He, 2024)	42×30.5×1.025	Graphene Assembled Film (GAF)	2.4, 3.5 ve 6.1 GHz	280 & 570 & 2240
(Chen ve diğ., 2013)	21×29×1.6	FR4 ($\epsilon_r=4.4$)	2.45, 3. ve 5.5 GHz	120 & 340 & 1450
(Kshetrimayum, 2009)	75×75×1.6	FR4 ($\epsilon_r=4.4$)	2.95, 4.18, 5.05 GHz	520 & 680 & 260
(Koo ve diğ., 2011)	27×39.5×0.8	FR4 ($\epsilon_r=4.4$)	2.55, 3.95, 5.75 GHz	280 & 1000 & 1300
(Vasu ve Sreeja, 2023)	35×45×1.6	FR4 ($\epsilon_r=4.4$)	2.45, 3.45, 5.4 GHz	230 & 190 & 810
Önerilen Anten	32×40×0.79	Arlon DiClad 880 ($\epsilon_r=2.2$)	2.6, 3.5 ve 5.5 GHz	200 & 520 & 4280

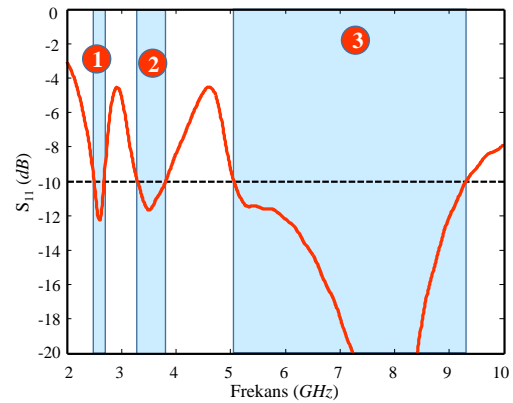
2. Önerilen Mikroşerit Anten Tasarımı

Çalışma kapsamında önerilen mikroşerit anten konfigürasyonu ve tasarıma ait parametrik boyutlar Şekil 1'de verilmektedir. Görüldüğü üzere, önerilen tasarım, eş düzlemsel hat (çoplanar waveguide; CPW) beslemeli mikroşerit anten yapısından oluşmaktadır. Anten tasarımında 50 Ω 'luk besleme hattının ucuna 3 adet farklı uzunluk ve genişliklerdeki mikroşerit dipol elemanları eklenmiştir. İlgili anten tasarımı bilgisayar ortamında (CST Microwave Studio) modellenirken, metalik yapılar için 0,05 mm kalınlığındaki kayıplı bakır ($\sigma=5.8 \times 10^7$ S/m) plakalar kullanılmış ve bu plakalar 0,79 mm yüksekliğindeki, 32×40 mm² boyutlarındaki Arlon DiClad 880 dielektrik malzemesi ($\epsilon_r=2.2$) üzerine yerleştirilmiştir. Dielektrik tabakanın arka yüzeyinde ise toprak düzlemi bulunmamaktadır.



Şekil 1. Önerilen Anten Konfigürasyonunun Önden Ve Yandan Görünüşü (Boyutlar mm)

İlgili anten tasarımının sergilediği geri-dönüş kaybı (S_{11}) karakteristiği Şekil 2'de yer almaktadır. Önerilen tasarım sayesinde üç farklı frekans bandı, dipol elemanların boyutları optimize edilerek bir araya getirilmiş ve böylece WiMAX uygulamaları için kullanılabilir üç-bantlı bir anten performansı elde edilmiştir. Sonuçta, önerilen tasarım 2.49 – 2.69 GHz, 3.29 – 3.81 GHz ve 5.05 – 9.33 GHz frekans bantlarında sırasıyla %8, %14,6 ve %51'lik bant genişliği performansı sergilemektedir.

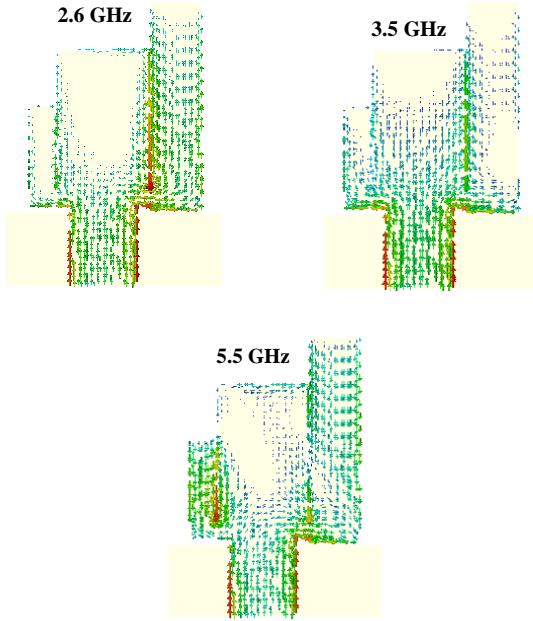


Şekil 2. Anten Tasarımının S_{11} Karakteristiği

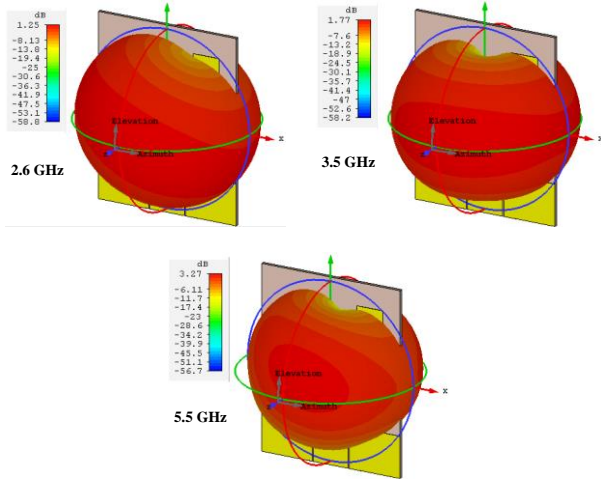
Şekil 3'te ise rezonans frekanslarındaki yüzey akım dağılımları yer almaktadır. Bu yüzey dağılımları göz önüne alındığında, dipol elemanlardan en uzununu (#1) alt-bant performansını belirlerken, orta boyutlu (#2) olan orta-bant performansını, en kısa (#3) olanın ise tasarımın üst-bant performansını belirlediği anlaşılmaktadır. Bu elemanlar arasında ise 0,5 mm'lik boşluklar bırakılmıştır.

Şekil 4'te ise, ilgili tasarımın 2.6 GHz, 3.5 GHz ve 5.5 GHz'deki dipol benzeri ışınma örüntüleri

görülmektedir. Önerilen tasarım ilgili bantlarda 1.25 dBi, 1.77 dBi ve 3.27 dB seviyelerindeki kazançlara sahiptir.



Şekil 3. Rezonans Frekanslarındaki Yüzey Akım Dağılımları



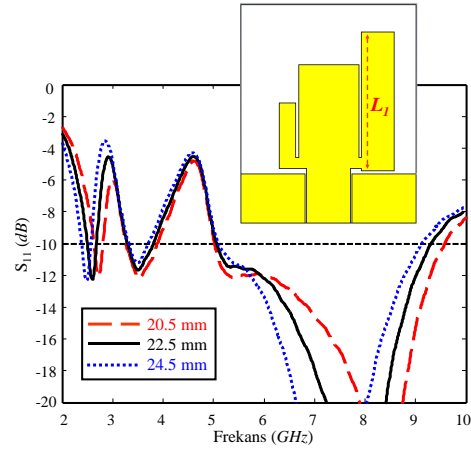
Şekil 4. Anten Tasarımının İlgili Bantlardaki Işıma Örüntüleri

3. Parametrik Çalışmalar

Önerilen tasarımın karakteristiğini etkileyen parametreleri görebilmek için bazı parametrik analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda dipol elemanlardan en uzununun (#1) alt-bant performansını, orta boyutlu (#2) olanın orta-bant performansını ve en kısa (#3) olanın ise tasarımın üst-bant performansını belirlemede etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu parametrik çalışmalar ve ilgili değerlendirmeleri aşağıda yer almaktadır.

3.1. #1 Numaralı Dipol Elemanının Etkisi

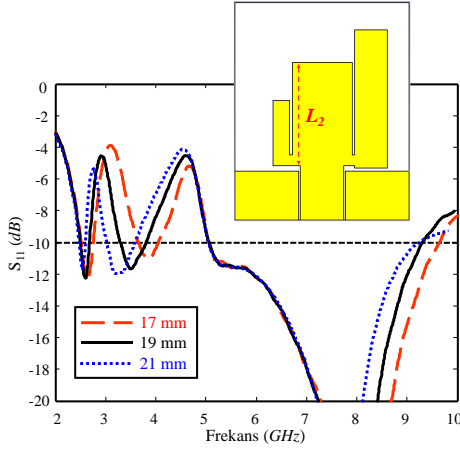
İlgili karakteristik için dipol elemanlarının uzunlukları oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Şekil 5'te #1 numaralı dipol elemanının uzunluğunun anten performansına olan etkisi yer almaktadır. Yapılan analizler sonucunda #1 numaralı dipol elemanının alt banttaki (soldaki) rezonans frekansını belirlediği tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere ilgili dipolün uzunluğu değiştirildiğinde alt bant beklendiği üzere farklı frekanslara doğru kayarken orta ve üst bantların frekanslarında önemli bir değişim meydana gelmemektedir. Boyut ayarlanması sonucunda, önerilen tasarımdan 2,49 – 2,69 GHz frekans bandında %8'lik bant genişliği performansı elde edilebilmektedir. İlgili dipolün genişliğinde değişiklik yapılması anten performansını çok fazla etkilememektedir.



Şekil 5. #1 Numaralı Dipol Elemanının Anten Performansına Etkisi

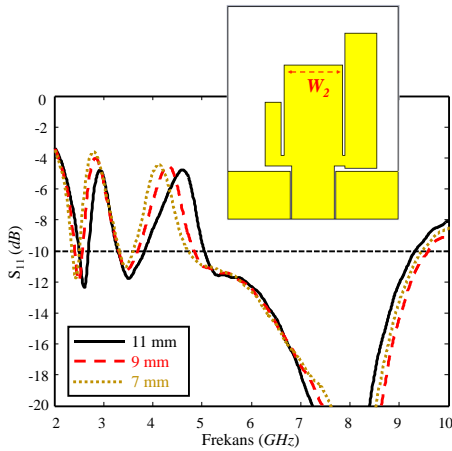
3.2. #2 Numaralı Dipol Elemanının Etkisi

Şekil 6'da #2 numaralı dipol elemanının uzunluğunun anten performansına olan etkisi görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda #2 numaralı dipol elemanının orta banttaki rezonans frekansını belirlediği tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere ilgili dipolün uzunluğu değiştirildiğinde orta bant beklendiği üzere farklı frekanslara doğru kayarken alt ve üst bantların frekanslarında önemli bir değişim meydana gelmemektedir. Boyut ayarlanması sonucunda, önerilen tasarımdan 3,29 – 3,81 GHz frekans bandında %14,6'lık bant genişliği performansı elde edilebilmektedir.



Şekil 6. #2 Numaralı Dipol Elemanının Uzunluğunun Anten Performansına Etkisi

Şekil 7'de ise #2 numaralı dipol elemanının genişliğinin anten performansına olan etkisi yer almaktadır. Görüldüğü üzere bu genişlik daha çok orta bant üzerinde etkili olmakta ve genişlik azaldıkça bant düşük değerlere doğru kaymaktadır. Bu analizler yapılırken diğer elemanların konumlarının değişmemesine sadece dipoller arasındaki mesafenin değiştirilmesine dikkat edilmiştir.

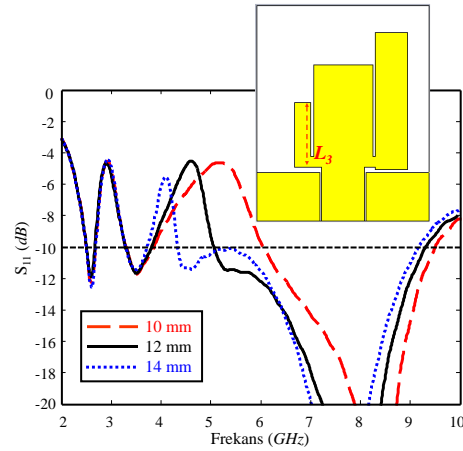


Şekil 7. #2 Numaralı Dipol Elemanının Genişliğinin Anten Performansına Etkisi

3.3. #3 Numaralı Dipol Elemanının Etkisi

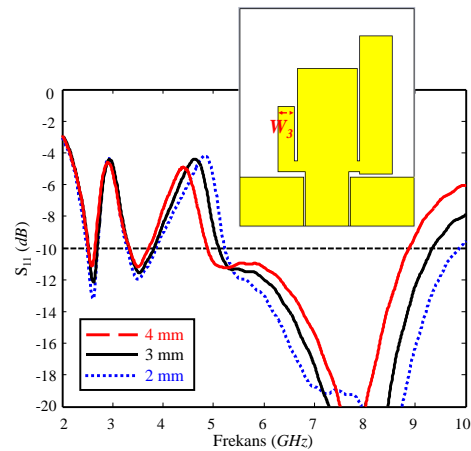
Şekil 8'de #3 numaralı dipol elemanının uzunluğunun anten performansına olan etkisi görülmektedir. Analizler sonucunda #3 numaralı dipol elemanının üst banttaki (sağdaki) rezonans frekansını belirlediği tespit edilmiştir. Görüldüğü üzere ilgili dipolün uzunluğu değiştirildiğinde üst bant beklendiği üzere farklı frekanslara doğru kayarken alt ve orta bantların frekanslarında önemli bir değişim meydana gelmemektedir. Bu dipolün boyutların ayarlanması sonucunda, önerilen tasarımdan 5,05 – 9,33 GHz frekans

bandında %51'lik bant genişliği performansı elde edilebilmektedir.



Şekil 8. #3 Numaralı Dipol Elemanının Anten Performansına Etkisi

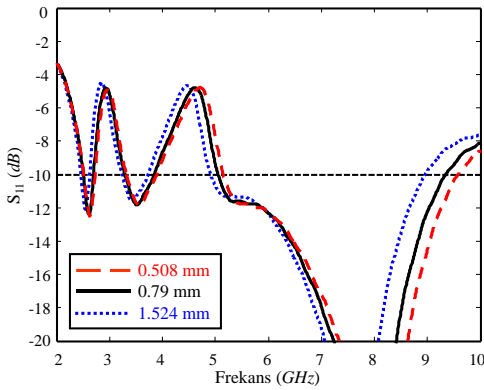
Şekil 9'da ise #3 numaralı dipol elemanının genişliğinin anten performansına olan etkisi yer almaktadır. Görüldüğü üzere bu genişlik daha çok üst bant üzerinde etkili olmakta ve genişlik azaldıkça bant yüksek değerlere doğru kaymaktadır.



Şekil 9. #3 Numaralı Dipol Elemanının Genişliğinin Anten Performansına Etkisi

3.4. Dielektrik Malzemenin Kalınlığının Etkisi

Şekil 8'de anten tasarımında kullanılan dielektrik malzemenin kalınlığının anten performansına olan etkisi görülmektedir. Yapılan analizler sonucunda beklenildiği üzere ilgili kalınlığın rezonans frekansını düşük değerlere doğru kaydırmaktadır.



Şekil 10. Dielektrik Malzemenin Kalınlığının Anten Performansına Etkisi

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında WiMAX uygulamaları için 2,6 GHz, 3,5 GHz ve 5,5 GHz bantlarında çalışan eş düzlemsel hat beslemeli (CPW-fed) mikroşerit anten tasarımı tanıtılmaktadır. Tasarım aşamasındaki analizler CST Microwave Studio programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Anten tasarımında 0,79 mm kalınlığındaki dielektrik malzeme (Arlon DiClad 880) kullanılmıştır. Tasarım 32×40 mm² boyutlarındadır. Analizler sonucunda önerilen tasarımın WiMAX frekans-bantlarını tamamen kapsadığı ve dipol benzeri ışıma örüntülerine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Önerilen tasarım ilgili bantlarda 2.15 dBi, 2.54 dBi ve 4.37 dBi seviyelerindeki yönlendirme kazançlarına sahiptir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Alam, M. M., Azim, R., Sobahi, N. M., Khan, A. I., ve Islam, M. T. (2022). A dual-band CPW-fed miniature planar antenna for S-, C-, WiMAX, WLAN, UWB, and X-band applications. *Scientific Reports*, 12(1), 7584. doi:10.1038/s41598-022-11679-7
- Baytore, C., Gocen, C., Palandoken, M., Kaya, A., ve Zoral, E. Y. (2019). Compact metal-plate slotted WLAN-WiMAX antenna design with USB Wi-Fi adapter application. *Turkish Journal Of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 27(6), 4403-4417. doi:10.3906/elk-1904-122
- Chen, H., Yang, X., Yin, Y. Z., Fan, S. T., ve Wu, J. J. (2013). Tri-band Planar Monopole Antenna With Compact Radiator for WLAN/WiMAX Applications. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 12, 1440-1443. doi:10.1109/lawp.2013.2287312

Dogusgen Erbas, C. (2022). GSM-1800 ve GPS uygulamaları için çift bantlı ve çift modlu yarıklı halka mikroşerit yama anten. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 38(1), 547-556. doi:10.17341/gazimmfd.740475

Koo, T. W., Kim, D., Ryu, J. I., Kim, J. C., ve Yook, J.-G. (2011). A coupled dual-u-shaped monopole antenna for WiMAX triple-band operation. *Microwave and Optical Technology Letters*, 53(4), 745-748. doi:10.1002/mop.25842

Kshetrimayum, R. S. (2009). Printed double-T monopole antennas for triband applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 51(7), 1640-1642. doi:10.1002/mop.24446

Kuo, Y.-L., ve Wong, K.-L. (2003). Printed double-T monopole antenna for 2.4/5.2 GHz dual-band WLAN operations. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 51(9), 2187-2192. doi:10.1109/tap.2003.816391

Lee, J. N., Kim, J. H., Park, J. K., ve Kim, J. S. (2009). Design of dual-band antenna with U-shaped open stub for WLAN/UWB applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 51(2), 284-289. doi:10.1002/mop.24033

Sondaş, A. (2011). Metamateryal altyapılı ve halka yüklemeli mikroşerit anten tasarımları ve gerçekleşmesi (Doktora tezi). Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.

Tang, Z., Liu, K., Yin, Y., ve Lian, R. (2015). Design of a compact triband monopole antenna for WLAN and WiMAX applications. *Microwave and Optical Technology Letters*, 57(10), 2298-2303. doi:10.1002/mop.29310

Vasu, A. S., ve Sreeja, T. K. (2023). Magnetodielectric nanocomposite antenna for triple band including 5G. *Wireless Personal Communications*, 129(2), 1161-1173. doi:10.1007/s11277-023-10181-1

Ye, D., Zu, H., Hu, Z., Xin, Y., Guo, J., Song, R., ve He, D. (2024). Flexible and Compact Tri-Band Graphene Antenna for Conformal Wi-Fi/WiMAX/5G Applications. *IEEE Transactions on Circuits and Systems. II, Express Briefs: A Publication of the IEEE Circuits and Systems Society*, 71(3), 1086-1090. doi:10.1109/tcsii.2023.3320177

Yu, K., ve Liu, X. (2017). Design of tri-band antenna with rectangular ring for WLAN and WiMAX application. *2017 Sixth Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP)*. IEEE.

POLİPROPİLEN (PP)/KALSİYUM BORAT $[Ca_3(BO_3)_2]$ /MALEİK ANHİDRİT AŞILI POLİPROPİLEN (MA-G-PP) POLİMER KOMPOZİTİNİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Elif ULUTAŞ^{1,a*}, Münir TAŞDEMİR^{1,b}

¹Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

^aORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-7753-887812>

^bORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8635-7251>

Anahtar Kelimeler	Öz
<p>Polipropilen Polimer kompozitler Kalsiyum borat Mekanik özellikler Fiziksel özellikler</p>	<p>Üretim yöntemleri açısından geniş bir yelpazeye sahip olan plastikler, kimyasal ve fiziksel özellikleri istenilen yönde değiştirilebildiği için geleneksel malzemelerin yerini almıştır. Üretim sırasında fonksiyonel dolgu katkı maddeleri kullanıldığında meydana gelen yapısal değişiklikler, yeni plastiğin birçok fiziksel özelliğinde iyileşmelere neden olmaktadır. Bor ve bor bileşiklerinin katkı maddesi olarak kullanılması, polimer kompozitlerin mekanik, ısı, elektriksel, optik ve fiziksel özelliklerini olumlu yönde etkilemektedir. Bu çalışmada, kalsiyum borat $[Ca_3(BO_3)_2]$ ve maleik anhidrit aşılı polipropilenin (MA-g-PP) polipropilen polimer kompozitlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Polipropilen matris; her grup için %5 oranında MA-g-PP ve farklı oranlarda (%5, 10, 15, 20) öğütülmüş kalsiyum borat partikülleri ile ekstrüderde eriyik halde karıştırılarak işlenmiştir. Ekstrüderden elde edilen karışım granüle edilerek enjeksiyon makinesi ile kalıplanmıştır. Kalsiyum boratın ergime akış indeksi (EAI), limit oksijen indeksi (LOI), ısı çarpılma sıcaklığı (HDT), Vicat yumuşama noktası, nem içeriği, darbe mukavemeti, yoğunluk, sertlik, elastiklik modülü, kopma mukavemeti, akma mukavemeti ve %uzama değerleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca kalsiyum boratın PP içerisindeki dağılımı ve uyumlaştırıcı ile desteklenen ara yüzey yapışması taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözlenmiştir. Sonuçlar, artan kalsiyum borat içeriğinin yoğunluğun, HDT ısı çarpılma sıcaklığı, Vicat yumuşama noktası, nem içeriği, LOI, sertlik ve elastiklik modülü değerlerinin artmasına neden olduğunu, bunun aksine EAI, %uzama, akma mukavemeti ve kopma mukavemetinin ise azaldığını göstermiştir.</p>

INVESTIGATION OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF POLYPROPYLENE (PP)/CALCIUM BORATE $[Ca_3(BO_3)_2]$ /MALEIC ANHYDRIDE GRAFTED POLYPROPYLENE (MA-G-PP) POLYMER COMPOSITE

Keywords	Abstract
<p>Polypropylene Polymer composites Calcium borate Mechanical properties Physical properties</p>	<p>Plastics, which have a wide range in terms of production methods, have replaced traditional materials because their chemical and physical properties can be changed in the desired direction. The structural changes that occur when functional filler additives are used during production lead to improvements in many physical properties of the new plastic. Using boron and boron compounds as additives positively affects the mechanical, thermal, electrical, optical and physical properties of polymer composites. In this study, the effects of calcium borate $[Ca_3(BO_3)_2]$ and maleic anhydride grafted polypropylene (MA-g-PP) on the physical and mechanical properties of polypropylene polymer composites were examined. The polypropylene matrix was processed by mixing in molten form in the extruder with 5% MA-g-PP for each group and ground different amounts (5, 10, 15, 20%) of ground calcium borate particles. The mixture obtained from the extruder was granulated and then molded with an injection machine. The effects of calcium borate on melt flow index (MFI), limit oxygen index (LOI), head deflection temperature (HDT),</p>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Vicat softening point, moisture content, impact strength, density, hardness, modulus of elasticity, breaking strength, yield strength and % elongation values were investigated. In addition, the distribution of calcium borate in the PP and the interfacial adhesion supported by the compatibilizer were observed by scanning electron microscopy (SEM). The results showed that increasing calcium borate content caused an increase in the density, HDT thermal distortion temperature, Vicat softening point, moisture content, LOI, hardness and modulus of elasticity, whereas EAI, % elongation, yield strength and tensile strength decreased.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 10.10.2023

Kabul Tarihi : 14.11.2024

Research Article

Submission Date : 10.10.2023

Accepted Date : 14.11.2024

* Sorumlu yazar: elif.ulutas@marmara.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1373982>

1. Giriş

Günümüz teknolojisinde, geleneksel malzemeler ihtiyaç duyulan gereksinimleri karşılamada yetersiz kalmaktadır. Son yıllarda yanmazlık ve elektriksel direnç gerektiren uygulamalarda, dekoratif amaçlı kullanımda, korozyon direnci gerektiren yerlerde, süper emici, köpük, dişli, kaplama gibi malzemelerde sağladığı avantajlar ile çelik malzemelerin yerini alan polimer ve polimer matrisli kompozitler teknolojinin tüm alanlarında kullanım bakımından önemli bir yere sahiptir (Öztürk, 2018; Saylan, 2010). Fiziksel ve kimyasal özellikleri istenilen yönde değiştirilebilir olması plastiklerin gün geçtikçe artan kullanımına yol açmıştır. Kullanımdaki bu artış gelişen teknolojiye paralel olarak plastik sektörünü de devamlı bir gelişim içine sokmuştur. İnorganik dolgu ve takviye malzemeleri geleneksel polimerlerin ısı kararlılık, alev geciktirme, elektriksel özellikler ve kimyasal reaktiflere karşı dayanıklılık gibi fiziksel özelliklerini iyileştirmektedir. Bunun yanı sıra maliyeti azaltırken mekanik özellikleri artırmaya yardımcı olduğundan dolayı, inorganik partiküllerin organik polimere katılmasına karşı büyük bir ilgi vardır (Gültaş, Çankaya, Güllü ve Gürü, 2014; Dang, Fan, Zhao ve Nan, 2003; Chae ve Kim, 2005; Xu, Brittain, Xue ve Eby, 2004; Tjong ve Liang, 2006; Yang, Yang, Li, Sun ve Feng, 2006; Huang, Chen ve Wei, 2006; Katircioğlu Bayel, 2018).

Endüstriyel açıdan önemi gün geçtikçe artan bor elementinin cam-seramik sanayi, temizlik ürünleri, kimya ve tarım sektörü, alev geciktirici, duman önleyici, su arıtma, ilaç ve sağlık sektörü, otomotiv endüstrisi gibi birçok kullanım alanı bulunmaktadır (Ediz ve Özdağ, 2001; Tombal, Özkan, Ünver ve Osmanloğlu, 2016; Kocayavuz, 2021). Aynı zamanda malzemelerin performansını arttıran bor minerallerinin takviye elemanı olarak kullanılmasıyla elde edilen bor ürünleri hafiflik, gerilmeye karşı dayanım, ısıya karşı dayanım gibi özelliklere sahiptir (Topçu ve Soyhan, 2022; Özkan, Çebi, Delice ve Doğan, 1997). Alkali metallere birleşmiş

sulu boratlı yapılar olarak bilinen bor mineralleri arasında yer alan kalsiyum borat plastik malzemelerde alev geciktirici olarak kullanılmaktadır (Durğun, 2010; Bay, 2002).

Gültaş, Güllü ve Çankaya (2017); PP içerisine toz halindeki kolemaniti ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot\text{H}_2\text{O}$) ağırlıkça %5, 7.5, %11, %17 ve %25 ilave ederek elde ettikleri karışımın viskozitesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Oksidasyonu önlemek amacıyla kolemanit dolgulu PP karışımına ağırlıkça %0,2 oranında antioksidan ilave edilmiştir. Yapılan çalışmada, artan kolemanit içeriğine karşılık viskozite değerlerinin yaklaşık %60 oranında arttığı, kesme hızı değerlerinin ise %62 oranında azaldığı tespit edilmiştir. Artan sıcaklık ve basınç değerleri ile viskozitenin düştüğü, kesme hızının ise arttığı görülmüştür. Feng ve diğ. (2015) çalışmalarında bor mineralleri arasında yer alan ve takviye malzemesi olarak kullanılan çinko boratın PP kompozitler üzerindeki alev geciktirici etkisini incelemiştir. Polimer kompozitlere %1 çinko borat ilave edildiğinde LOI %27,1'den %30,7'ye artmıştır. Çinko borat, kompozitlerin alev geciktirici özellikleri ve yanma performansı üzerinde olumlu bir etki göstermiştir. Üreyen ve Kaynak (2019); bor minerallerinin yanmazlık etkisini araştırdıkları çalışmada çinko boratı polietilen teraftalat (PET) dokuma kumaşları üzerine pad-dry yöntemi ile uygulamışlardır. Test sonuçları, çinko borat, PET kumaşların yanma özelliklerine önemli ölçüde etki etmediğini ancak ortalama CO, toplam duman salınımı ve toplam duman üretimi değerlerini düşürdüğünü göstermektedir. İnaner (2022)'e ait bir çalışmada; sol-jel yöntemiyle sentezlenen kalsiyum borat katkılı PET'ten üretilen şişelerin mekanik davranışları incelenmiştir. Çift vidalı ekstrüder ile harmanlanan PET ve kalsiyum borat, enjeksiyon kalıplama ile ön şekillendirmenin ardından şişirme kalıplama ile şişe formuna getirilmiştir. Test sonuçları; kalsiyum borat ilavesinin şişelerin yük taşıma kapasitesini ve çevresel çatlama gerilimini artırdığını göstermektedir. SEM mikrograflarında; kalsiyum borat partiküllerinin PET

polimer yüzeyini kapladığını ve saf PET yüzeyinde bulunan mikro çatlakları örttüğü görülmüştür.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde; dünya genelinde çok daha az bor rezervine sahip ülkelere kıyasla, bor açısından zengin olan Türkiye’de borun dolgu-takviye malzemesi olarak kullanımı hakkında kısıtlı sayıda çalışma olduğu görülmektedir. Bor minerallerinin polimerler üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan bu çalışmada kalsiyum borat; PP için inorganik takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Matris ve takviye elemanı arasındaki ara yüzey yapışmasını desteklemek amacıyla uyumlaştırıcı malzeme olarak MA-g-PP polimer kompozitlerin içerisine ilave edilmiştir. Yapılan çalışmada kalsiyum boratın PP üzerindeki termal, fiziksel ve mekanik etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda Kalsiyum boratın PP içerisindeki dağılımı ve uyumlaştırıcı ile desteklenen ara yüzey yapışması SEM ile gözlenmiştir.

2. Yöntem

Yapılan çalışmada; araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Beş farklı kalsiyum borat içeriğiyle hazırlanmış polimer kompozit karışım oranları Tablo 1’de verilmiştir. Lyondell Basell tarafından temin edilen PP’e (Moplen EP 3307) ait özellikler; yoğunluk 0,89 g/cm³, EAİ değeri 14 g/10dk (230°C, 2,16 kg) ve ısıl çarpılma sıcaklığı (0,45 MPa, tavlama yapılmamış) 95°C’dir. Kalsiyum borat, American Borate Şirketi (VA, ABD) tarafından temin edilmiştir ve erime sıcaklığı 930°C, yoğunluğu 2,42 g/cm³ ve Mohs sertlik sınıflandırmasına göre sertliği 4-4,5’dir. Partikül boyutu 75 µm, yoğunluğu 0,95 g/cm³tür. Kalsiyum borat içeriği %39,5-40,0 B₂O₃ ve %26-28 CaO’dan oluşmaktadır. Arayüzeyde takviye ve matris için çok etkili bir uyumlaştırıcı olan MAPP daha iyi yapışma sağlamak ve takviye maddelerinin matris içinde daha homojen bir şekilde dağılmasını desteklemek için tercih edilmektedir. Literatürde yer alan çalışmalarda, MAPP oranının ağırlıkça %5 olarak seçilmesi, genellikle PP ve takviye maddesi arasındaki uyumun sağlanması için optimal bir seviye olarak gösterilmektedir (Kim, Lee, Choi, Kim ve Kim 2007; Silveira ve diğ., 2023; Baig, Almehari, Abid, Junaedi ve Almajid, 2024).

Tablo 1. PP/[Ca₃(BO₃)₂]/MA-g-PP polimer kompozit karışım oranları

PP (Ağırlıkça %)	% Ca ₃ (BO ₃) ₂ (Ağırlıkça %)	MA-g-PP (Ağırlıkça %)
100	-	-
90	5	5
85	10	5
80	15	5
75	20	5

Polipropilen ve kalsiyum borat, eriyik harmanlamadan önce 105°C’de 24 saat boyunca vakumlu bir fırında kurutulmuştur. Katı bileşimlerin mekanik ön karıştırılması, 20 dk boyunca bir LB-5601 sıvı-katı

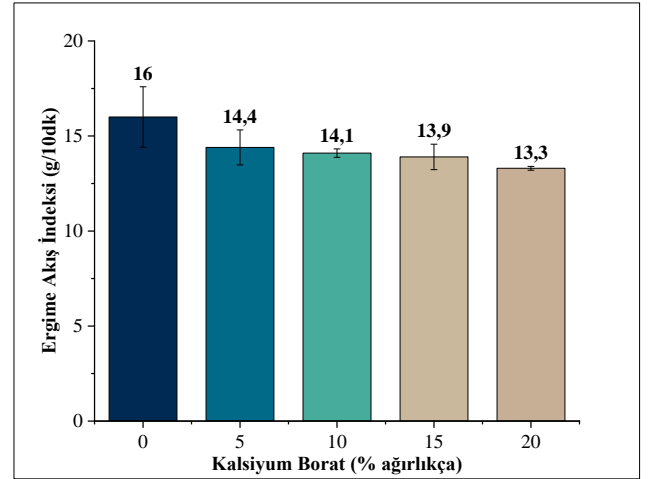
karıştırıcı (The Patterson-Kelley Co., Inc.ABD) kullanılarak yapılmıştır. Belirtilen oranlarda PP ve kalsiyum borat içeren katı karışımlar; 190-220°C sıcaklıklar arasında 15 bar basınçta ve 25 dev/dk dönüş hızında Mikrosan marka ekstrüder (Microsan Instrument Inc. Türkiye) eriyik halde karıştırılarak, polimer kompozitler üretilmiştir. Soğutma işlemi sırasında suya maruz bırakılan polimer kompozitler ekstrüzyondan sonra 24 saat 105°C’de vakumlu fırında yeniden kurutulmuştur. Ardından sıcaklığı 190-220°C, basıncı 80-100 bar ve vida hızı 25 dev/dk olan enjeksiyon kalıplama ile test numuneleri üretilmiştir.

Elastiklik modülü, akma ve kopma anındaki gerilme mukavemeti ve kalıplanmış plakaların % uzaması, ASTM D638’e göre oda sıcaklığında ve 50 mm/dk çekme hızında bir çekme cihazı (Zwick Z010, Almanya) kullanılarak ölçülmüştür. Her bileşim için yedi numune test edilerek değerlerin ortalaması alınmıştır. Sertlik testi ASTM D2240 yöntemine göre Zwick sertlik test cihazı ile yapılmıştır. Kırılma davranışını araştırmak için oda sıcaklığında Zwick B5113 marka darbe test cihazı (Zwick, Almanya) ile ASTM D256 yöntemine göre Izod darbe testi (çentikli) yapılmıştır. Yoğunluk tayini ISO 2781 test standardına göre yapılmıştır. Devotrans CEAST 6521 marka HDT-Vicat test cihazı ile ISO 75 ve ISO 307 standardına göre HDT ve Vicat yumuşama noktası testleri yapılmıştır. Tüm karışımların akış davranışı Zwick 4100 EAİ ekipmanı ile ISO 1133 standardına uygun olarak 230°C sıcaklık ve 2,16 kg yük altında incelenmiştir. Nem testi Kern DBS 60-3 cihazı ile ASTM D 6980 standardına uygun olarak yapılmıştır. LOİ testleri için numuneler Devotrans LOİ cihazı kullanılarak ISO 4589 standardına uygun olarak azot ve oksijen atmosferinde yakılmıştır. PP/Ca₃(BO₃)₂/MA-g-PP polimer kompozitlerinin kırık yüzeyleri, Polaron SC7640 marka yüksek çözünürlüklü püskürtmeli kaplayıcı (İngiltere) ile elektrik yüklenmesini önlemek için altın-paladyum karışımı ile 20 Å kalınlığında kaplanmıştır. Hazırlanan numunelerin yüzeyleri, 20 kV ivme voltajında JEOL-JSM 5910 LV (JEOL Ltd., Tokyo, Japonya) SEM ile gözlenmiştir.

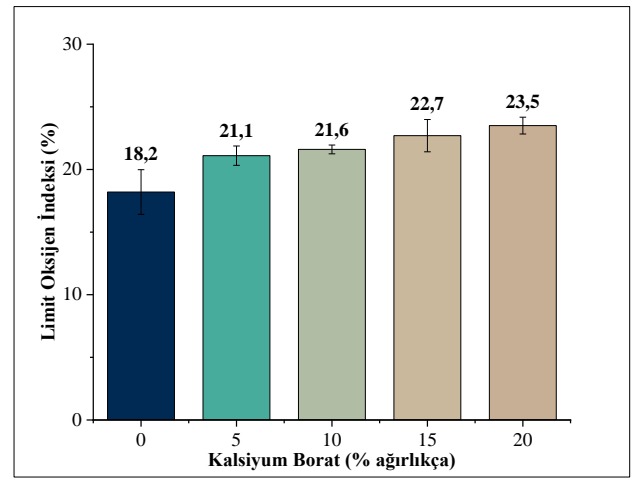
3. Bulgular ve Tartışma

Yapılan çalışmada ağırlıkça farklı oranda kalsiyum boratın PP matris içerisine ilavesiyle elde edilen polimer kompozitlerin mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. EAİ ile PP polimer kompozitlerin kalsiyum borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 1A’da verilmiştir. Kalsiyum boratın PP matrisine dahil edilmesiyle, kompozitin EAİ değerinin azaldığı dolayısıyla viskozitesinin arttığı tespit edilmiştir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kalsiyum borat içeren numunelerin EAİ değeri sırasıyla 14,4, 14,1, 13,9, 13,3 g/10 dk ve saf PP ait EAİ değeri 16 g/10 dk olarak ölçülmüştür. Saf PP’nin EAİ’si ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 kalsiyum borat konsantrasyonuna sahip kompozitler için EAİ değeri %17 azalmıştır. Test

sonuçları ile benzer şekilde; Güldaş ve diğ. (2014) çinko boratın PP üzerindeki akış davranışını inceledikleri çalışmada çinko borat oranının artmasıyla EAİ değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca basınç ve sıcaklık artışına bağlı olarak bu değerinin arttığını yani viskozitesinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Hamzah, Hidayah, Mariatti ve Kamarol (2014) %50 polipropilen ve %50 etilen propilen dien monomerinden oluşan karışım içerisinde hacimce %15, 30, 45, 60 oranında dolgu maddesi olarak dahil ettikleri kalsiyum boratın etkilerini incelemişlerdir. 230°C'de gerçekleştirilen EAİ testi sonuçlarında dolgu maddesi ilavesinin bu değeri düşürdüğü dolayısıyla viskoziteyi artırdığı görülmüştür. LOİ ile PP polimer kompozitlerin kalsiyum borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 1B'de verilmiştir. Kalsiyum boratın PP matrisine dahil edilmesiyle, kompozitin LOİ değerinin arttığı görülmektedir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kalsiyum borat içeren numunelerin LOİ değerleri sırasıyla %21,1, 21,6, 22,7, 23,5 ve saf PP'ye ait LOİ değeri %18,2 olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin LOİ'si ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 kalsiyum borat konsantrasyonuna sahip kompozitler için LOİ değeri %29 oranında artış göstermiştir. Topçu ve Soyhan (2022)'a ait bor minerallerinin yangın geciktirici özelliğinin ele alındığı bir çalışmada ahşap bloklar üzerine bor katkılı boya uygulanarak LOİ testi yapılmıştır. Deney sonucunda işlem görmemiş ve çinko borat katkılı boya uygulanmış ahşap blokların %oksijen konsantrasyonunun sırasıyla %23,7 ve %55 olduğu görülmüştür. Durğun (2010) çalışmasında ahşap yüzey üzerine kalsiyum borat içeren yüksek sıcaklık boyalarını üç kat uygulayarak test için hazır hale getirmiştir. Yapılan LOİ test sonuçlarına göre; ahşap malzemelerde kalsiyum borat içeren yüzey boyasının alev karşı bir miktar dayanım sağladığı ve alevi geciktirebildiği görülmüştür. Ramazani, Rahimi, Frounchi ve Radman (2008) ait dolgu maddesi türlerinin ve oranlarının yanmazlık etkilerinin incelendiği bir çalışmada, alev geciktirici dolgu maddesi olarak çinko borat ve alüminyum hidroksit, matris malzemesi olarak PP kullanılmıştır. PP matrisine %10, 20, 30 oranlarında dolgu maddelerinin eklenmesi kompozitin LOİ'sinde artışa neden olmuştur.



A

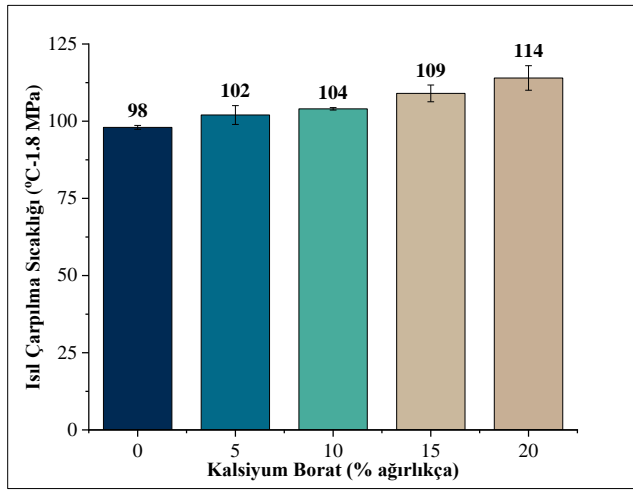


B

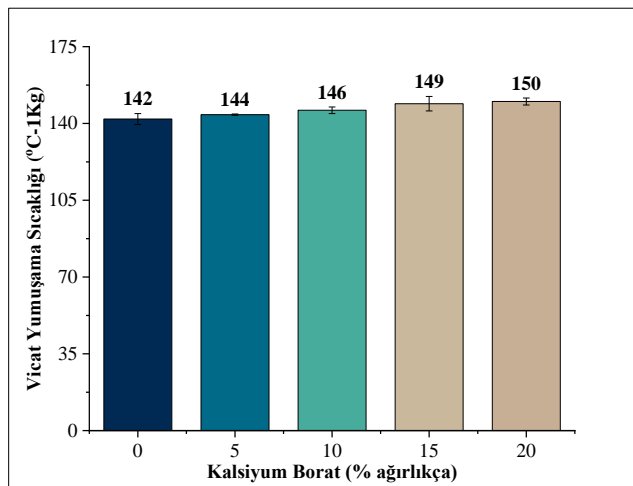
Şekil 1. PP/[Ca₃(BO₃)₂]/MA-g-PP polimer kompozitlerin EAİ ve LOİ değerleri

HDT ile polipropilen polimer kompozitlerin kalsiyum borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 2A'da verilmiştir. Kalsiyum boratın PP matrisine dahil edilmesiyle, kompozitin HDT'sinin arttığı görülmektedir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kalsiyum borat içeren numunelerin HDT'si sırasıyla 102, 104, 109, 114°C ve saf PP ait HDT ise 98°C olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin HDT'si ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 kalsiyum borat konsantrasyonuna sahip kompozitler için bu değer %16 oranında artmıştır. HDT testine kıyasla benzer gelişme gösteren Vicat yumuşama noktası testine ait değerler Şekil 2B'de verilmiştir. Kalsiyum boratın PP matrisine dahil edilmesiyle, kompozitin Vicat yumuşama noktasının arttığı görülmektedir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kalsiyum borat içeren numunelerin Vicat yumuşama noktaları sırasıyla 144, 146, 149, 150°C ve saf PP ait Vicat yumuşama noktası ise 142°C olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin Vicat yumuşama noktası ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 kalsiyum borat konsantrasyonuna sahip kompozitler için bu değer %6 oranında artış göstermiştir. Kocayavuz (2021)'a ait

kalsiyum borat katkı PET şişelerin özelliklerinin incelendiği bir çalışmada termal analiz test sonuçlarına göre kalsiyum boratın PET üzerinde benzer etkiye sahip olduğu görülmüştür. Artan kalsiyum borat konsantrasyonuna bağlı olarak polimerin sıcaklığa karşı dayanım kazandığı ve erime sıcaklığının arttığı tespit edilmiştir. Ulutaş ve Taşdemir (2023)'e ait bor minerallerinin PP üzerindeki fiziksel özelliklerinin incelediği bir başka çalışmada yapılan HDT ve Vicat yumuşama noktası testi sonuçlarına göre çinko borat ilavesinin her iki değeri de artırdığı tespit edilmiştir. Yerleşen ve Taşdemir (2015) HDPE'ye farklı oranlarda çinko borat ve çinko oksit ilavesiyle elde ettikleri kompozitlerin bazı özelliklerini araştırmışlardır. HDT ve Vicat yumuşama noktası testlerini yaptıkları çalışmada benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Çinko oksit veya çinko borat oranının artmasına bağlı olarak kompozitlerin HDT ve Vicat yumuşama noktası değerlerinde artış görülmüştür.



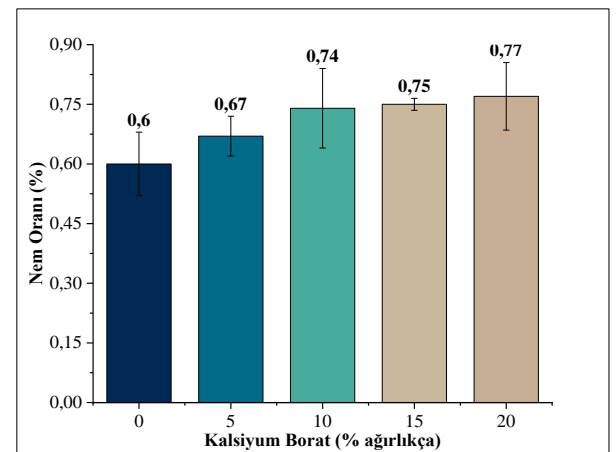
A



B

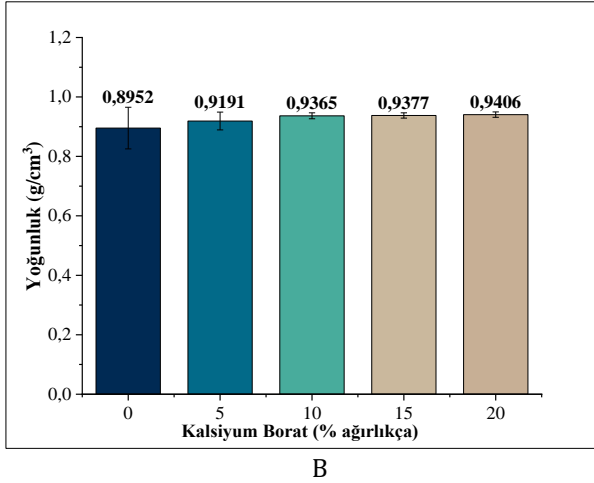
Şekil 2. PP/[Ca₃(BO₃)₂]/MA-g-PP polimer kompozitlerin HDT ve Vicat değerleri

Polipropilen polimer kompozitlerin nem içeriği ile kalsiyum borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 3A'da verilmiştir. Kalsiyum boratın PP matrisine dahil edilmesiyle, kompozitin nem içeriğinin arttığı görülmektedir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kalsiyum borata ait nem içeriği sırasıyla %0,67, 0,74, 0,75, 0,77 ve saf PP'nin nem içeriği %0.6 olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin nem içeriği ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 kalsiyum borat konsantrasyonuna sahip kompozitler için nem içeriği %28 artmıştır. Polipropilen polimer kompozitlerin yoğunluk ve kalsiyum borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 3B'de verilmiştir. Kalsiyum boratın PP matrisine dahil edilmesiyle, kompozitin yoğunluğunun arttığı görülmektedir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kalsiyum borat içeren numunelere ait yoğunluk değerleri sırasıyla 0,9191, 0,9365, 0,9377, 0,9406 g/cm³ ve saf PP'nin yoğunluğu 0,8952 g/cm³ olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin yoğunluğu ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 kalsiyum borat konsantrasyonuna sahip kompozitler için yoğunluk %5 artmıştır. Öztürk (2018); %10-40 oranında bor mineral atığı katkı PP kompozitlerin özelliklerini incelediği çalışmada, katkı miktarının artmasıyla yoğunluk değerinin arttığını gözlemlemiştir. Benzer şekilde; Uygunoğlu, Güneş ve Brostow (2015) epoksi reçinesine %17, 33, 50 ve 66 oranında bor içeren atıklar ilave ederek hazırladıkları polimer kompozitlere yapmış olduğu yoğunluk testi sonucunda; atık içeriğinin yoğunluğu artırdığını gözlemlemişlerdir. Bilici ve diğ. (2021) enjeksiyon kalıplama ile %5, 15, 25, 35 oranında kolemanit (ρ : 2,84 g/cm³) içeren PP (ρ : 0,92 g/cm³) bazlı kompozit malzemeler hazırladıkları çalışmada yapmış oldukları yoğunluk testinde benzer sonuçlara ulaşmışlardır. PP'ye kıyasla maksimum oranda kolemanit ilavesiyle yoğunluk değeri yaklaşık olarak %73 artış göstermiştir.



A

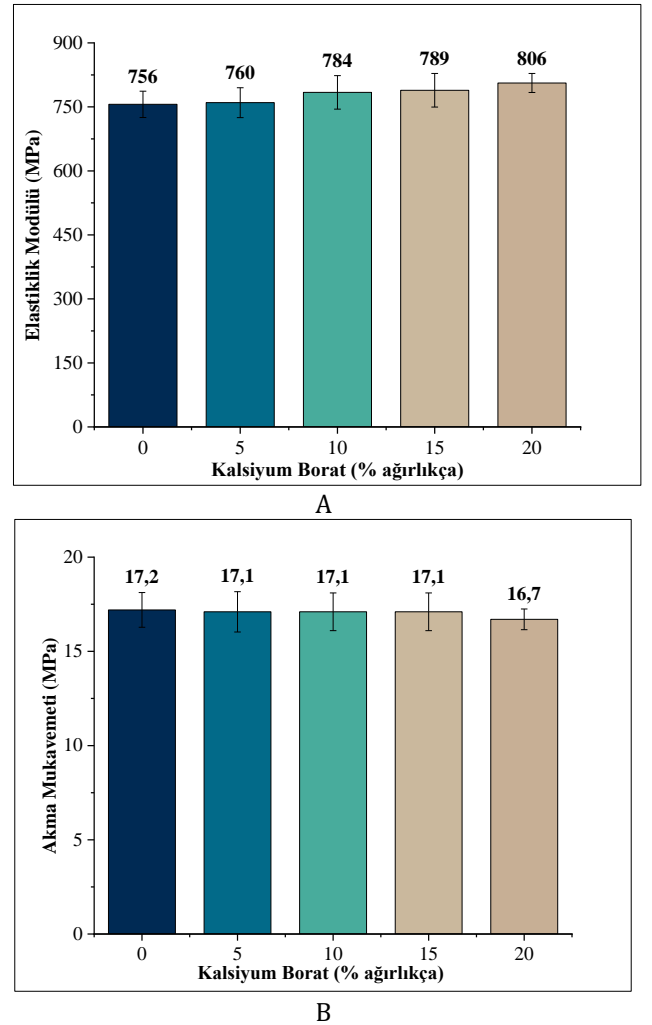
Şekil 3. PP/[Ca₃(BO₃)₂]/MA-g-PP polimer kompozitlerin nem oranı ve yoğunluk değerleri

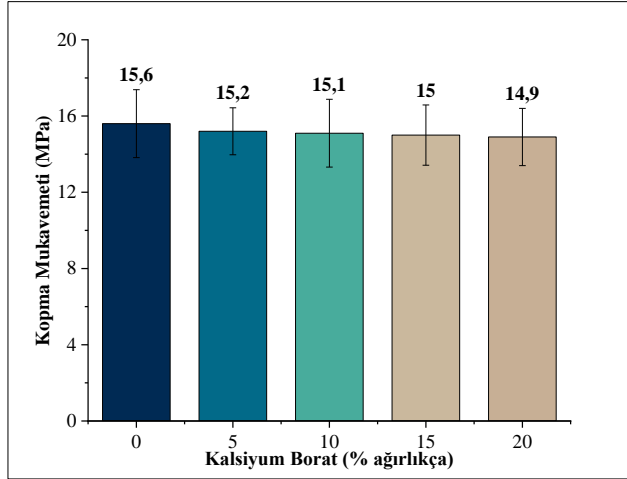


Şekil 3. devamı

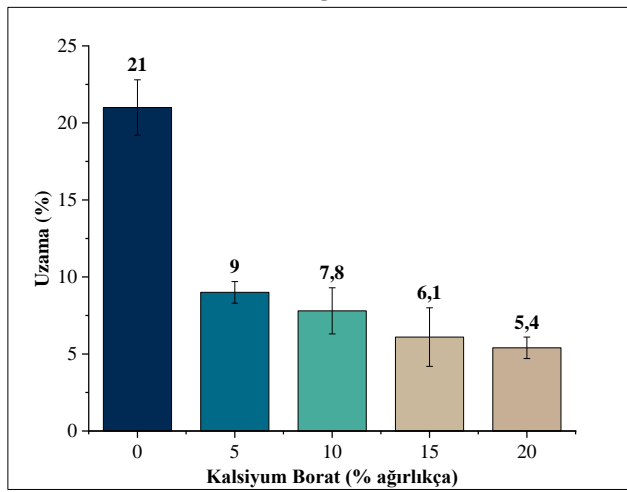
Polipropilen polimer kompozitlerin elastiklik modülü ile kalsiyum borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 4A'da verilmiştir. PP matrisine kalsiyum borat eklenmesiyle kompozitin elastiklik modülünün arttığı görülmektedir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kalsiyum borat içeren numunelere ait elastiklik modülü sırasıyla 760, 784, 789, 806 MPa ve saf PP'nin elastiklik modülü 756 MPa olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin elastiklik modülü ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 kalsiyum borat konsantrasyonuna sahip kompozitler için elastiklik modülü yaklaşık olarak %7 oranında artmıştır. Bunun aksine; Topçuoğlu (2016) bor bileşikleri içeren epoksi numunelerinin özelliklerini incelediği çalışmasında yapmış olduğu çekme testi sonucunda B₄C parçalarının çok yüksek sertliğe ve modüle sahip olmasına rağmen numunelerin elastiklik modülü değerlerini artırmadığını tespit etmiştir. Bunun sebebini numune hazırlama tekniğinden kaynaklanan boşluklara ve parçacık miktarının yetersiz olmasına dayandırmaktadır. Şekil 4B ve 4C'de verilen kopma mukavemeti ve akma mukavemeti sonuçları incelendiğinde kalsiyum borat ilavesinin bu değerler üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. Uzama ile polipropilen polimer kompozitlerin kalsiyum borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 4D'de verilmiştir. PP matrisine kalsiyum boratın eklenmesiyle kompozitin uzama yüzdesinin azaldığı görülmektedir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kalsiyum borat içeren numunelere ait uzama değerleri sırasıyla %9, 7,8, 6,1, 5,4 ve saf PP'nin uzaması %21 olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin uzamasıyla karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 kalsiyum borat konsantrasyonuna sahip kompozitler için uzama %74 azalmıştır. Soykan ve Veliyeva (2020) çalışmalarında 45µm boyutundaki kolemanit (%5, 10, 15, 20) ilavesinin izotaktik PP'nin karakteristik özelliklerine etkisini incelemişlerdir. Çalışma kapsamında yapılan çekme testi sonuçları; kolemanit ilavesinin kompozitlerin tüm mekanik özelliklerini az da olsa etkilediğini göstermektedir. Kolemanit içeriğinin artmasıyla birlikte elastiklik modülü artış gösterirken, ürünlerdeki

uzama yüzdesinin sürekli olarak azaldığı tespit edilmiştir. Şahin (2011)'e ait kolemanit parçacıklarıyla güçlendirilmiş polipropilenin mekanik özelliklerinin araştırıldığı bir başka çalışmada yapılan çekme testinde benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Hacimce %5 kolemanit ilavesiyle elde edilen kompozitlerde öğütülmüş kolemanitin malzemenin elastik modülünü arttırdığı, akma gerilmesini ve akma gerinimini azalttığı tespit edilmiştir. Benzer sonuçların yer aldığı Ramazani ve diğ. (2008) ait başka bir çalışmada yapılan çekme testi sonuçları alev geciktirici dolgu içeriğinin artmasıyla çekme mukavemeti ve uzama miktarı azalırken kompozitler elastiklik modülü artış göstermiştir.

Şekil 4. PP/[Ca₃(BO₃)₂]/MA-g-PP polimer kompozitlerin çekme testi sonuçları



C

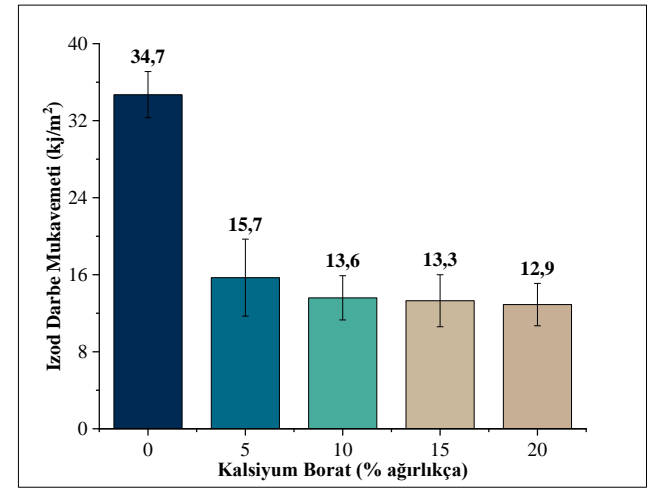


D

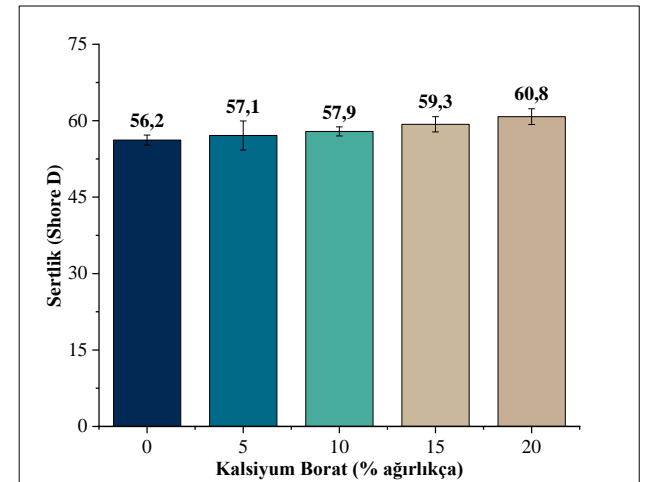
Şekil 4. devamı

İzod darbe dayanımı ile polipropilen polimer kompozitlerin kalsiyum borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 5A'da verilmiştir. PP matrisine kalsiyum borat eklenmesiyle kompozitin İzod darbe dayanımının azaldığı görülmektedir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kalsiyum borat içeren numunelere ait İzod darbe dayanımı sırasıyla 15,7, 13,6, 13,3, 12,9 kJ/m² ve saf PP'nin İzod darbe dayanımı 34,7 kJ/m² olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin İzod darbe mukavemeti ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 kalsiyum borat konsantrasyonuna sahip kompozitler için İzod darbe mukavemeti %63 oranında azalmıştır. Kaynak ve Işırtman (2011)'a ait doğal hidratlı kalsiyum boratın yani kolemanit mineralinin yangın geciktirici etkisini araştırdıkları çalışmada, kalsiyum borat ilavesinin yüksek darbe dayanımlı polistirenin darbe mukavemetini azalttığı görülmüştür. Benzer şekilde Öztürk (2018)'e ait bir çalışmada, PP içerisindeki boratı oranının (%10, 20, 30, 40) artmasıyla darbe mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir. Polipropilen polimer kompozitlerin sertliği ile kalsiyum borat yüzdesi arasındaki ilişki Şekil 5B'de verilmiştir. PP

matrisine kalsiyum boratın eklenmesiyle kompozitin sertliğinin arttığı görülmektedir. Ağırlıkça %5, 10, 15 ve 20 kalsiyum borat içeren numunelerin sertliği sırasıyla 57,1, 57,9, 59,3, 60,8 Shore D ve saf PP'nin sertliği 56,2 Shore D olarak ölçülmüştür. Saf PP'nin sertliği ile karşılaştırıldığında, ağırlıkça %20 kalsiyum borat konsantrasyonuna sahip kompozitler için sertlik yaklaşık olarak %8 oranında artmıştır. Güzel, Sivrikaya ve Deveci (2016); mekanik karıştırıcı ile hazırladıkları kolemanit/epoksi reçine ve üleksit/epoksi reçine kompozitlerin bazı özelliklerini incelemişlerdir. Yapılan sertlik testi sonuçlarında her iki tür dolgu içeriğinde de benzer sonuçlar gözlemlenmiştir. Epoksi reçine içerisine katılan ağırlıkça %0, 3, 5, 10 ve 20 oranındaki dolgu maddelerinin kompozitin sertliğini artırdığı tespit edilmiştir. Bu durum kolemanit ve üleksitin, epoksi reçinesine kıyasla daha sert bir malzeme olmasına dayandırılmaktadır.



A

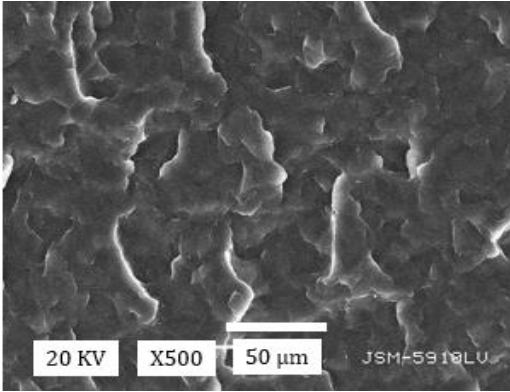


B

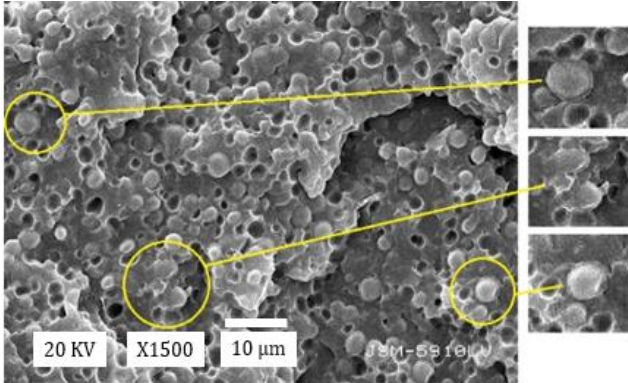
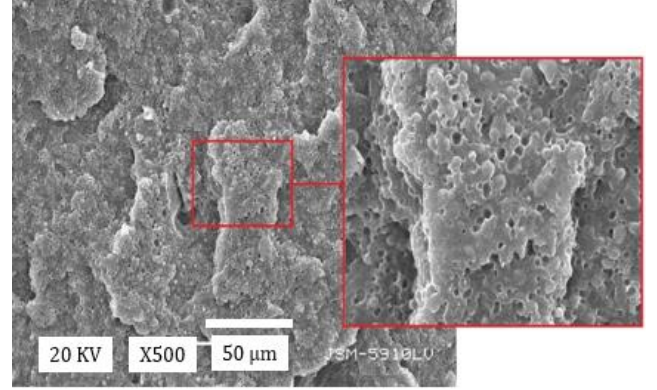
Şekil 5. PP/[Ca₃(BO₃)₂]/MA-g-PP polimer kompozitlerin İzod darbe mukavemeti ve sertlik değerleri

Çalışma kapsamında yapılan SEM analizi için, darbe testi sonucunda elde edilen numunelerin kırık yüzeyleri

kullanılmıştır. Şekil 6'da verilen %10 ve %20 dolgu ilaveli kompozitlere ait görseller incelendiğinde; kalsiyum borat partiküllerinin düzensiz bir şekle sahip olduğu görülmektedir (kırmızı işaretli bölge). Kompozit üretiminde matris içerisindeki parçacık şekli, dolgu dispersiyonu ve dolgu-matris ara yüzey yapışma malzeme özellikleri üzerinde etkilidir. Küresel dolguların kompozitler üzerinde daha yüksek çekme özelliklerine sahip olduğu, düzensiz dolguların ise daha düşük çekme özellikleri gösterdiği bilinmektedir (Hamzah ve diğ, 2014). Ayrıca partiküller için homojen bir dağılım söz konusu olsa da yer yer topaklanmalar mevcuttur (kırmızı işaretli bölge). Bunun yanı sıra bazı partikül yüzeylerinde görülen polimer kalıntıları, ara yüzey yapışmasının varlığından söz ettirmektedir. Sarı ile işaretlenmiş bu bölgelerde uyumlaştırıcı olarak kullanılan MA-g-PP partikül yüzeyini kaplayarak matris ile partikül arasında bir bağlayıcı köprü görevini üstlenmiştir. Çalışma kapsamında yapılan çekme ve darbe testi sonuçları bu yorumları desteklemektedir (Şekil 4, 5A). Ayrıca mekanik özelliklerdeki düşüş ve partiküllerin oluşturduğu boşluklar MA-g-PP miktarının yetersiz olduğunu göstermektedir.



Saf PP

PP/ [Ca₃(BO₃)₂]/MAPP (85/10/5)PP/ [Ca₃(BO₃)₂]/MAPP (75/20/5)Şekil 6. PP/ [Ca₃(BO₃)₂]/MA-g-PP polimer kompozitlerin SEM fotoğrafları

4. Sonuçlar

Kalsiyum boratın PP üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla kompozitlere yapılan mekanik ve fiziksel incelemeler sonucunda malzemenin EAİ, HDT, LOİ, nem içeriği, Vicat yumuşama noktası, elastiklik modülü, akma dayanımı, kopmada çekme dayanımı, % uzama, Izod darbe dayanımı, sertlik, yoğunluk değerleri tespit edilmiş olup morfolojik incelemesi yapılmıştır. Sonuçların tartışılmasından önce, homojen bir karışım sağlanması için kompoziti oluşturan bileşenlerin 220°C çalışma sıcaklığında ekstrüzyon makinesinde karıştırılmıştır ve iyi eriyik akışın sağlanması için test numunelerinin hazırlanması sırasında enjeksiyon kalıplama sıcaklığı ve enjeksiyon basıncının 220°C ve 80-100 bar olarak belirlenmiştir. Yapılan test sonuçlarında kalsiyum boratın PP matrisine dahil edilmesiyle kompozitin EAİ, % uzama, Izod darbe dayanımı azaldığı bulunmuştur. Öte yandan dolgu ilavesi HDT, LOI, Vicat yumuşama noktası, elastiklik modülü, sertliği, yoğunluğu ve nem içeriğini artırmıştır. Kopma ve akma dayanımlarında önemli bir değişim gözlenmemiştir.

LOİ değeri bir malzemenin yanmaya devam edebilmesi için gerek duyduğu oksijen miktarını ifade etmektedir. LOİ değerinin yüksek oluşu malzemenin standart atmosferik koşullar altında yanmasının daha zor olduğunu göstermektedir. Yapısında bir miktar kristal su bulduran kalsiyum borat su moleküllerine hidrojen bağı ile tutunur. Endotermik bir reaksiyon esnasında bu bağlar kırılır ve suyun açığa çıkmasına neden olur. Dolayısıyla kalsiyum borat katkılı kompozitin yanma esnasında sıcaklığı düşer ve açığa çıkan buhar yanıcı gazları seyreltir. Bu durum malzemenin daha geç yanmasına ve LOİ değerinde artışa sebep olur.

Malzemelerin akışkanlığı ile viskozitesi arasında ters orantılı bir ilişki vardır ve bir polimere parçacıklı dolgu maddelerinin eklenmesi matris içindeki molekül

hareketini kısıtlar. Bu durum da akışa karşı bir direnç oluşturur. EAİ sonuçları kalsiyum borat ilavesinin PP'nin viskozitesini artırdığını göstermektedir.

Kalsiyum borat yoğunluğunun polipropilene kıyasla daha yüksek olması sebebiyle dolgu miktarındaki artışa bağlı olarak kompozitin yoğunluğu artmıştır.

Kompozit üretiminde matris içerisindeki parçacık şekli, dolgu dispersiyonu ve dolgu-matris ara yüzey yapışması çekme özellikleri üzerinde etkilidir. Yapılan çalışmada çekme testi sonuçları incelendiğinde, akma ve kopma mukavemetinde dolgu ilavesiyle önemli bir değişim gözlenmemiştir. Fakat akma ve kopma mukavemetindeki azalma, düzensiz dolgu şekli ile ilişkilendirilebilir. Çekme özelliklerindeki bu olumsuz değişim SEM görüntüleri ile desteklenmektedir (Şekil 6). PP'ye göre daha sert bir malzeme olan kalsiyum borat PP zincirlerinin esnekliğinin azalmasına neden olabilir. Kalsiyum borat ilavesiyle uzama miktarında meydana gelen düşüş bu şekilde açıklanabilir. Kompozitler için yapılan çekme testi sonuçlarında elastiklik modülünün saf PP'den daha yüksek olduğu bulunmuştur. Bu, PP matrisine kalsiyum borat ilavesinin, ürünlerin deformasyona karşı direnç kazanmasına neden olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Yapılan sertlik testi sonuçları, elastiklik modülündeki artışı doğrulamaktadır. Ürünlerin darbe dayanımları da Izod darbe testleri ile detaylı olarak araştırılmıştır. PP matris içerisinde aglomerasyonun oluşmasına neden olan partiküllerin bulunması, ani kuvvet uygulandığında enerjiyi absorbe edemeden kırılmasına neden olmuştur ve bu durum darbe mukavemetinde azalma ile sonuçlanmıştır. Ayrıca polimerik matris ile çok düşük etkileşime sahip olan dolgu maddelerinin karıştırılması ile elde edilen kompozitlerde, ani yüklem sonrasında polimer/dolgu maddesi ara yüzlerindeki bağların çözülmesi darbe özellikleri üzerinde kötüleştirici bir etkiye neden olur. Çalışmada uyumlaştırıcı olarak her bir gruba ilave edilen %5 oranında MA-g-PP yeterli ara yüzey bağlanmasını yeterli miktarda sağlayamamıştır (Şekil 6).

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Elif ULUTAŞ, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, makalenin sonuçları; Münir TAŞDEMİR, çalışmanın uygulanması, sonuçların bilgisayar ortamına aktarılması, makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Bayg, M., Almeshari, B., Abid, A., Junaedi, H. & Almajid, A. (2024). The effect of maleic anhydride grafted polypropylene addition on the degradation in the mechanical properties of the PP/wood composites. *Heliyon*, 10(9). doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30510>
- Bay, K. (2002). *Kolemanitten zayıf asitlerle borik asit üretimi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bilici, İ., Aygün, B., Deniz, C.U., Öz, B., Sayyed, M.I. & Karabulut A. (2021). Fabrication of novel neutron shielding materials: polypropylene composites containing colemanite, tincal and ulexite. *Progress in Nuclear Energy*, 141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2021.103954>
- Chae, D.W. & Kim, B.C. (2005). Characterization on polystyrene/zinc oxide nanocomposites prepared from solution mixing. *Polymers for Advanced Technologies*, 16(11-12), 846-850. doi: <https://doi.org/10.1002/pat.673>
- Dang, Z., Fan, L., Zhao, S. & Nan, C. (2003). Dielectric properties and morphologies of composites filled with whisker and nanosized zinc oxide. *Materials Research Bulletin*, 38(3), 499-507. doi: [https://doi.org/10.1016/S0025-5408\(02\)01055-3](https://doi.org/10.1016/S0025-5408(02)01055-3).
- Durğun, Z.G. (2010). *Çeşitli kalsiyum boratların sentezi, karakterizasyonu ve alev geciktirici etkinliklerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ediz, N. ve Özdağ, H. (2001). Bor mineralleri ve ekonomisi. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 2, 133-151.
- Feng, C., Zhanga, Y., Liang, D., Liua, S., Chi, Z. & Xua, J. (2015). Influence of zinc borate on the flame retardancy and thermal stability of intumescent flame retardant polypropylene composites. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 115, 224-232.
- Gültaş, A., Çankaya, A., Güllü, A., ve Gürü M. (2014). Çinko borat katkılı polipropilenin reolojik özelliklerinin belirlenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(2). doi: <https://doi.org/10.17341/gummfd.24326>
- Gültaş, A., Güllü, A. & Çankaya, A. (2017). Determination of the rheological properties of polypropylene filled with colemanite: determination of rheological properties of PP filled with colemanite. *Polymers for Advanced Technologies*, 28(9), 1179-1184. doi: <https://doi.org/10.1002/pat.4011>

- Güzel, G., Sivrikaya, O. & Devenci, H. (2016). The use of colemanite and ulexite as novel fillers in epoxy composites: influences on thermal and physico-mechanical properties. *Composites Part B: Engineering*, 100, 1-9.
- Hamzah, M., Hidayah, I., Mariatti, M. & Kamarol M. (2014). Dielectric and thermal properties of flame retardant fillers in polypropylene/ethylene propylene diene monomer composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 33(21), 1931-1940.
- Huang, C.K., Chen, S.W. & Wei, W.C.J. (2006). Processing and property improvement of polymeric composites with added ZnO nanoparticles through microinjection molding. *Journal of Applied Polymer Science*, 102(6), 6009-6016. doi: <https://doi.org/10.1002/app.25195>
- Inaner, N.B. (2022). *Kalsiyum Borat'ın (CaB₂O₄) Polietilen Terafitalat'ın (PET) kimyasal bozunması üzerine inhibisyon etkisi ve Kalsiyum Borat katkı PET'ten üretilen şişelerin mekanik davranışlarının incelenmesi* (Yüksek lisans tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Katircioğlu Bayel, D. (2018). Alev geciktirici mineral dolgu maddeleri. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(3), 1175-1179. doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.502401>
- Kaynak, C. & Işırtman, N.A. (2011). Synergistic fire retardancy of colemanite, a natural hydrated calcium borate, in high-impact polystyrene containing brominated epoxy and antimony oxide. *Polymer Degradation and Stability*, 96(5), 798-807.
- Kim, H.S., Lee, B.H., Choi, S.W., Kim, S. & Kim, H.J. (2007). The effect of types of maleic anhydride grafted polypropylene (MAPP) on the interfacial adhesion properties of bio-flour-filled polypropylene composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 38(6), 1473-1482.
- Kocayavuz, Ö. (2021). *Kalsiyum borat Ca₃B₂O₆ katkı pet'in kimyasal bozunma davranışı ile kalsiyum borat/pet kompozitten üretilen şişelerin mekanik davranışlarının incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Özkan, Ş.G., Çebi, H., Delice, S. ve Doğan, M. (1997). Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madenciligi, 2. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 224-228, İzmir.
- Öztürk, M. (2018). *Bor minerali atığı katkı polipropilen kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi).
- Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ramazani, S.A.A., Rahimi, A., Frounchi, M. & Radman, S. (2008). Investigation of flame retardancy and physical-mechanical properties of zinc borate and aluminum hydroxide propylene composites. *Materials & Design*, 29(5), 1051-1056.
- Saylan, T. (2010). *Pa6 kompozitlerinin termal, mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Silveira, P.H.P.M., Santos, M.C.C., Chaves, Y.S., Ribeire, M.P., Marchi, B.Z., Monteiro, S.N., ... Bastos, D.C. (2023). Characterization of thermo-mechanical and chemical properties of polypropylene/hemp fiber biocomposites: impact of maleic anhydride compatibilizer and fiber content. *Polymer*, 15(15), doi: 10.3390/polym15153271
- Soykan, U. & Valiyeva, F. (2020). The effect of colemanite addition on the microstructural and mechanical characteristics of IPP. *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering*, 21, 28-39.
- Şahin, T. (2011). Mechanical and thermal properties of colemanite filled polypropylene. *Raw Materials And Applications*, 64(9), 16-21.
- Tjong, S.C & Liang, G.D. (2006). Electrical properties of low-density polyethylene/ZnO nanocomposites. *Materials Chemistry and Physics*, 100(1), 1-5. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2005.11.029>
- Tombal, T.D., Özkan, Ş.G., Ünver, İ.K. ve Osmanlıoğlu, A.E. (2016). Bor bileşiklerinin özellikleri, üretimi, kullanımı ve nükleer reaktör teknolojisinde önemi. *Bor Dergisi*, 1(2), 86-95.
- Topçu, U. ve Soyhan, H.S. (2022). Bor mineralinin yangın geciktirici etkileri. *Uluslararası Yakıtlar Yanma Ve Yangın Dergisi*, 10(1), 28-37 doi: <https://doi.org/10.52702/fce.1039589>
- Topçuoğlu, E. (2016). *Preparation and characterization of polymer composites containing boron compounds* (Yüksek lisans tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Ulutaş, E. & Taşdemir, M. (2023). Effect of UV aging on the physical properties of polypropylene/zinc borate polymer composites. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1), 97-103. doi: <https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1195035>

- Uygunoğlu, T., Güneş, I. & Brostow, W. (2015). Physical and mechanical properties of polymer composites with high content of wastes including boron. *Materials Research*, 18(6), 1188-1196.
- Üreyen, M.E. & Kaynak, E. (2019). Effect of zinc borate on flammability of pet woven fabrics. *Advances in Polymer Technology*, 1-13. doi: <https://doi.org/10.1155/2019/7150736>
- Xu, Y., Brittain, W. J., Xue, C. & Eby, R.K. (2004). Effect of clay type on morphology and thermal stability of PMMA-clay nanocomposites prepared by heterocoagulation method. *Polymer*, 45(11), 3735-3746. doi: <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2004.03.058>
- Yang, K., Yang, Q., Li, G., Sun, Y. & Feng, D. (2006). Morphology and mechanical properties of polypropylene/calcium carbonate nanocomposites. *Materials Letters*, 60(6), 805-809. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2005.10.020>
- Yerlesen, U. & Taşdemir M. (2015). Effect of zinc oxide and zinc borate on mechanical properties of high density polyethylene. *Romanian Journal Of Materials*, 45(4), 364-369.

ILGIN SAHASI (KONYA) BİTÜMLÜ KILTAŞI ÇÖKELİMİ HAVZASINDA PALEO-HİDROTERMAL ÇÖKELME KOŞULLARI, PALEO-HİDRODİNAMİK OLAYLAR VE PALEO-İKLİM İNCELEMELERİ

Ali SARI¹, Kamal ISMAYILZADA², Elif AKISKA³, Fuat EROL⁴

¹ Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06830, Gölbaşı, ANKARA

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0001-6289-3332>

² Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 06100, Tandoğan, ANKARA

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-0960-0286>

³ Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06830, Gölbaşı, ANKARA

ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-6180-4710>

⁴ Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, Yenimahalle, ANKARA

ORCID No : <http://orcid.org/0009-0008-5830-3860>

Anahtar Kelimeler	Öz
Hidrotermal Çökeltme Paleo-Hidrodinamik Olay, Paleo-İklim Bitümlü Kilitaşı Ilgın (Konya)	<i>Hidrotermal akışkan faaliyetleri kilitaşı ve şeyl gibi bitümlü sedimanter kayaçlardaki Mo, U, Cu, Ni ve Zn gibi iz elementlerin zenginleşmesinin yanı sıra organik maddenin korunma derecesini de önemli ölçüde etkiler. İncelenen örneklerinin Fe/Ti (ort: 126,34) ve (Fe+Mn)/Ti (ort: 126,79) oranları Ilgın paleo-göl havzasının hidrotermal bir sıvıdan etkilendiğini göstermektedir. Zr/Rb oranı çeşitli araştırmacılar tarafından, sedimanter havzalarda paleo-hidrodinamik kuvvetle ilişkili olarak su derinliğinin değişmesinin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. İncelenen örneklerinin Zr/Rb oranlarına göre; istifin tabanında "zayıf paleo-hidrodinamik bir kuvvet" (0,71) etkili olmuşken, üste doğru ise ardışıklı olarak "güçlü paleo-hidrodinamik (2,06-2,86) ile zayıf paleo-hidrodinamik kuvvetler (1,78-1,80) etkili olmuşlardır. Ilgın paleo-göl havzasının su derinliği 21,02 metre olup, bitümlü kilitaşı örnekleri "yarı derin bir gölde" çökelmişlerdir. Ilgın havzası bitümlü kayaç örneklerinin Bileşimsel Değişkenlik İndeksi" (ICVort= 14,31) değerlerine göre örnekler çok yüksek kil içeriğine sahip olup, enerjisi çok düşük su koşullarında çökelmişlerdir. İncelenen örneklerde, Sr/Cu (ort: 37,10), Rb/Sr (ort: 0,106), Th/U (ort: 0,34), Sr/Ba (ort:3,2), Fe/Mn (ort: 596,33) oranlarına ait paleo-iklim göstergelerine göre Ilgın paleo-göl havzasında oldukça sıcak ve kurak iklim etkili olmuştur.</i>

PALEO-HYDROTHERMAL DEPOSITION CONDITIONS, PALEO-HYDRODYNAMIC EVENTS AND PALEO-CLIMATE STUDIES IN ILGIN FIELD (KONYA) BITUMINOUS CLAYSTONE DEPOSITION BASIN

Keywords	Abstract
Hydrothermal Deposition, Paleo-Hydrodynamic Event, Paleo-Climatc, Bituminous Claystone, Ilgın (Konya)	<i>Hydrothermal fluid activities significantly affect the degree of preservation of organic matter as well as the enrichment of trace elements like Mo, U, Cu, Ni and Zn in bituminous sedimentary rocks such as claystone and shale. The examined samples' Fe/Ti ratio (mean: 126.34) and (Fe+Mn)/Ti ratio (mean: 126.79) ratios of the examined samples show that the Ilgın paleo-lake basin is affected by a hydrothermal fluid. The Zr/Rb ratio suggests that the Ilgın paleo-lake basin has been influenced by hydrothermal fluid. According to the Zr/Rb ratios of the examined samples; While a "weak paleo-hydrodynamic force" (0.71) was effective at the base of the sequence, towards the top, "strong paleo-hydrodynamic forces (2.06-2.86) and weak paleo-hydrodynamic forces (1.78-1, 80) were effective. The water depth of the Ilgın paleo-lake basin is 21.02 meters, and bituminous claystone samples were deposited in a "semi-deep lake". Based on the "Compositional Variability Index" (ICVort= 14.31) values of the Ilgın basin bituminous rock samples, these samples contain a high clay content and were deposited under very low energy water conditions. Considering the paleoclimate indicators derived from Sr/Cu (average: 37.10), Rb/Sr (average: 0.106), Th/U (average: 0.34), Sr/Ba (average: 3.2) and Fe/Mn (average: 596, 33) ratios in the examined samples, a very hot and arid climate prevailed in the Ilgın paleo-lake basin.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 16.03.2024

Submission Date : 16.03.2024

Kabul Tarihi : 16.09.2024

Accepted Date : 16.09.2024



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

* Sorumlu yazar: egunen@eng.ankara.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1438395>

1. Giriş

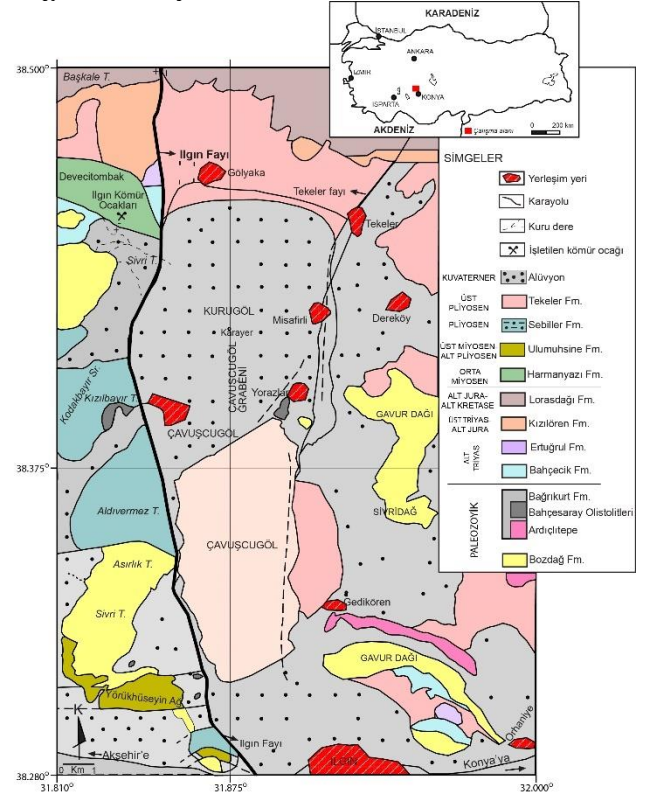
İnceleme alanı Konya ilinin kuzeybatısında yer alan Ilgın kömür sahasında bulunmaktadır (Şekil 1). Sahada halen işletilmekte olan kömür kalınlığı 0,60-21,55m arasında değişmektedir. Havzada Miyosen boyunca iklimsel koşullara bağlı olarak turbalık bataklıklarının gelişmesine bağlı olarak kömür damarları ve farklı kalınlıklarda ara kesmeler meydana gelmiştir. Sahanın kuzeybatı ve kuzeydoğu kesimlerinde kömürler arasındaki ara kesmeler daha ince iken sahanın kuzey ve güney kesimlerinde ise daha kalındır. Havzadaki kömür oluşumun tamamlanması ve gölün yavaş yavaş derinleşmeye başlamasıyla göldeki oksijen yanında, fosfat ve nitrat gibi mikro canlılar için besin maddelerinin çoğalması ile birlikte gölde fitoplankton algal yaşam başlamış olup, çok sıcak ve kurak bir iklim süreciyle birlikte bitümlü kilaşı çökelişi gerçekleşmiştir.



Şekil 1. İnceleme Alanına Ait Yer Bulduru Haritası (Harita Verisi: Google, ©2013 / Landsat / Copernicus).

Bu makalede kullanılan stratigrafik istif "General Topics in Geology and Earth Sciences 1 (Chapter II)" (Sarı, İsmayılzade, Pehlivanlı ve Erol, 2023) kitap bölümünden alınmıştır. Bölgede Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler üzerinde Alpin tektonik hareketleri kuvvetli bir şekilde etkili olmuş ve bu birimler yoğun deformasyon geçirmişlerdir. Çalışma alanında Paleozoyik bir temel üzerinde bulunan Mesozoyik yaşlı stratigrafik birimler açılı uyumsuzlukla bulunurlar (Hüseyinca ve Eren, 2007). Stratigrafik olarak Mesozoyik yaşlı birimler açılı uyumsuz olarak alttan üste doğru; Alt Triyas yaşlı metakırıntılılar ve

fillitlerden oluşan Bahçecik formasyonu ile başlar, yine Alt Triyas yaşlı metakarbonat-metakırıntılı ardalardan oluşan Ertuğrul formasyonu ve üzerlerinde de Üst Triyas-Alt Jura yaşlı bitüm kokulu dolomitlerden oluşan Kızılören formasyonu yer alır. Bu birim üzerinde Alt Jura-Alt Kretase yaşlı dolomit ve kalsitik dolomitlerden oluşan Lorasdağı formasyonu oturur. Mesozoyik yaşlı bu birimlerin üzerine yine açılı uyumsuz olarak Neojen yaşlı formasyonlar bulunmaktadır. Bu birimler stratigrafik olarak alttan üste doğru; bitümlü kilaşı, marn ve kömürlerden meydana gelen Orta Miyosen (Orta Serravaliyen) yaşlı (Karayığit, Akgün, Gayer ve Temel, 1999) Harmanyazı formasyonu, onun üzerinde tabanında konglomera ile başlayan ve üst seviyelerde de kireçtaşlarından oluşan Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Ulumuhsine formasyonu gelir. Ulumuhsine formasyonu üzerine genellikle kilaşı, konglomera ve değişik boyutlu kırıntılılardan oluşan Pliyosen yaşlı Sebiller formasyonu ile onunda üzerinde karbonat ve demir çimentolu, kireçtaşı ve dolomitik kayaç parçalarının oluşturduğu Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Tekeler formasyonu yer alır (Hüseyinca ve Eren, 2007). Neojen yaşlı birimler üzerinde ise en genç çökeller olan güncel alüvyonlar yer alır (Şekil 2 ve 3).



Şekil 2. İnceleme Alanına Ait Jeolojik Harita (Hüseyinca ve Eren, 2007).

ÜST SİSTEM		SERO		FORMASYON		KALINLIK-m		SİMGELER		LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SİSTEM		SERİ		FORMASYON		KALINLIK-m		SİMGELER			
MESOZOYİK	NEOJEN	ALTYÖN	ALTYÖN	20	Qal	Qal	Qal	Qal	Qal	Kahve- gri renkli çok çeşitli boyutlu tutarlı malzeme	-Açısal uyumsuzluk
		MİYÖSEN	MİYÖSEN	110	Tb	Tb	Tb	Tb	Tabanda çakıl, blok ve fillit parçalı konglomera içeren, sarı, krem renkli kireçtaşı	Beyaz, gri, sarı, turuncu, kahve renkli kilitaşı, marn, kireçtaşı ve kömür	
											-Açısal uyumsuzluk
		MİYÖSEN	MİYÖSEN	100	Tu	Tu	Tu	Tu	Koyu mavi -lacivert renkli orta-kalın tabakalı, bitüm kokulu, dolomit mermer	Sarı, pembe renkli, orta-kalın tabakalı mermer ve fillit.	
											-Açısal uyumsuzluk
	MİYÖSEN	MİYÖSEN	120	Th	Th	Th	Th	Merceksi geometri, beyaz renkli, masif, dış kökenli rekristalize kireçtaşı	Gri, yeşil, kahve renkli orta- kalın tabakalı metakonglomera, metakumtaşı ve fillit		
										-Açısal uyumsuzluk	Kalmı tabakalı, siyah renkli, dolomitik mermer üyesi
	MİYÖSEN	MİYÖSEN	MİYÖSEN	400	Tr-Ki	Tr-Ki	Tr-Ki	Tr-Ki	Beyaz, mavimsi gri ve siyah renkli, orta kalın tabakalı, masif görünümü, bitüm kokulu mermer		
										-Açısal uyumsuzluk	
		MİYÖSEN	MİYÖSEN	250	Tr-K	Tr-K	Tr-K				
										-Açısal uyumsuzluk	
MİYÖSEN		MİYÖSEN	100	Tr-e	Tr-e	Tr-e	Tr-e				
										-Açısal uyumsuzluk	
MİYÖSEN	MİYÖSEN	350	Tr-b	Tr-b	Tr-b	Tr-b					
										-Açısal uyumsuzluk	
MİYÖSEN	MİYÖSEN	800	D-Pb	D-Pb	D-Pb	D-Pb					
										-Açısal uyumsuzluk	
MİYÖSEN	MİYÖSEN	1000	S-Cb	S-Cb	S-Cb	S-Cb					
										-Açısal uyumsuzluk	

Şekil 3. İnceleme Alanının Genelleştirilmiş Kolon Kesiti (Hüseyinca ve Eren, 2007)

Sedimanter havzalarda hidrotermal akışkan faaliyetleri oldukça yaygın olarak görülür ve bu faaliyetler özellikle killi sedimanter kayalar olan kilitaşı ve şeyllerde zenginleşen iz element miktarları ile bu tür killi kayalarda organik madde korunma derecesi ve termal olgunluğu olumlu yönde etkilemektedir. Yine, sedimanter havzalardaki paleo-hidrokinamik olaylar killi sedimanter kayalarda zenginleşen örneğin Zr ve Rb gibi iz elementlerin aktif kimyasal özellikleri nedeniyle sıg su koşullarında veya yüksek enerjili derin sularda biriktirilmelerine olanak sağlar. Bu nedenle, Zr/Rb oranı, suyun derinliğinin değişiminin belirlenmesi amacıyla uygulanabilir. Paleo-su hidrokinamiği ise sedimanter havzalardaki killi sedimanter kayalar olan kilitaşı ve şeyllerde zenginleşen iz element miktarları ile bu tür killi kayaların organik madde miktarlarının olumlu yönde etkilenip etkilenmediğini belirlemek açısından son derece kullanışlıdır. Bu amaçla, paleo-su hidrokinamiğinin belirlenmesi için kilitaşı ve şeyllerde "Bileşimsel Değişkenlik İndeksi (ICV)" hesaplamaları yapılmaktadır. Bu indeks ile kayaların orijinal bileşiminde yer alan kil minerallerinin depolanmaları esansında; ya sakin ve enerjisiz su koşullarında daha az tortu yeniden dolaşımına maruz kaldıklarını ya da daha fazla tortu geri dönüşümüne maruz kalarak, güçlü hava koşullarından oldukça fazla etkilendiğini ifade eder.

Paleo-iklim şartları ise göl türü sedimanter havzalardaki bitümlü kilitaşı ve bitümlü şeyl türü killi sedimanter kayaların birincil verimliliğini etkilemesinin yanı sıra, göl sularının alkalilik, asitlik ve tuzluluk oranına, oksidasyon ve redüksiyon gelişimlerine ve bütün bunların yanı sıra da birincil organik madde üretimini ve zenginleşmesini de doğrudan etkilemektedir. Ayrıca, paleo-iklim genellikle kayaların alterasyonunu, sediment taşınmasını ve kaynak kayaların bileşimi de etkileyebilir (Zhang, Gao, Liu, Huang, Yang ve Zhang, 2011).

2. Materyal ve Yöntem

Bu makaleye konu olan kayaç materyalleri Ilgın (Konya) sahasındaki taban kömürlerinin üzerinde çökelemeye başlayan (KI-1 no'lu örnek) ancak daha sonra gölün sıglaşması ile tavan kömürlerinin çökmesinden itibaren sürekli şekilde derinleşen göl ortamında çökelmiş olan, organik madde içerikleri çok yüksek bitümlü kilitaşı seviyelerinden tabandan tavana kadar sistematik şekilde alınan bitümlü kilitaşı (KI-2-KI-14) örnekleri ile iki adet de kömür (KI-Alt Linyit ve KI-Ara Linyit) örneği oluşturmaktadır. Bitümlü kilitaşı ve kömür örneklerinde Ana ve İz element analizleri Ankara Üniversitesi YEBİM Araştırma Merkezi laboratuvarında ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) model cihaz kullanılarak yapılmıştır.

Çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3. Jeokimyasal İncelemeler

Bu çalışmada Jeokimyasal yönden incelenen Ilgın (Konya) sahası Miyosen yaşlı Harmanyazı Formasyonun organik madde içerikleri yönünden oldukça zengin olan bitümlü kilitaşlarına ait iz ve ana elementler ile %TOC değerleri Tablo 1'de verilmiştir.

3.1. Paleo-hidrotermal Çökeltme Koşulları

Hidrotermal akışkanlarla ilişkili olarak depolanmış olan tortullar hidrotermal biriktirmeler olarak adlandırılır (Zhong, Jiang, Guo ve Sun, 2015). Hidrotermal akışkan faaliyetleri sedimanter havzalarda oldukça yaygındır ve bu süreçlerin killi sedimanter kayalarda zenginleşen iz elementler ile kilitaşı ve şeyl gibi killi kayaların organik madde miktarlarını etkilediği açıkça görülebilir (Chu, Chen, Zhang, Shi, Jiang ve Yang, 2016). Fe/Ti ve (Fe+Mn)/Ti oranları hidrotermal akışkanlarla ilişkili olarak depolanmış olan hidrotermal kaynaklı çökeltilerin gösterge indeksleri olabilir. Killi kayalardaki Fe/Ti değeri > 20.0'nin üzerinde olduğunda veya kayalardaki (Fe+Mn)/Ti değeri 20 ± 5'in üzerinde olduğunda, sedimanların hidrotermal bir akışkandan etkilendiği kabul edilir (Boström, 1983).

Tablo 1. Ilgın Sahası Bitümlü Kilitaşı Örneklerine ait İz ve Ana elementler ile %TOC değerleri.

Örnek No	KI-14	KI-13	KI-12	KI-11	KI-10	KI-9	KI-8	KI-7	KI-6	KI-5	KI-4	KI-3	KI-3/2	KI-2	KI-Ara Linyit	KI-1	KI-Alt Linyit
TOC %	14,52	34,32	21,00	41,52	26,50	23,33	37,69	44,44	16,29	40,99	28,93	37,12	34,51	31,07	51,19	36,41	47,26
S ppm	17698,1	91794,6	36797,9	82943,5	43614,4	59754,6	37050,2	52345,3	35207,9	93156,3	28603,7	116665,7	59314	77897,2	84225,1	100165,1	26577,1
Sr ppm	498,8	99,4	495,7	94,7	177	227,8	300,8	277,3	292,7	151,2	148,2	72,1	167,8	202,5	113,9	67	273,8
Cu ppm	1,5	16,2	9,8	7,5	11,0	6,9	14,0	14,0	5,9	14,9	28,0	21,0	16,1	8,0	9,5	16,1	15,1
Rb ppm	11,6	24,6	18,3	9,5	13,3	17,0	37,2	28,2	13,5	10,5	45,0	10,6	6,0	11,7	5,1	21,1	3,3
U ppm	7,3	13,2	6,8	6,0	6,0	13,5	13,1	5,9	7,5	6,3	5,8	6,3	12,9	10,1	4,2	7,0	12,4
Th ppm	3,0	5,6	5,1	1,1	2,9	5,0	6,8	4,9	3,6	3,8	11,1	1,1	2,1	3,5	3,1	6,4	1,2
Zr ppm	31,2	50,7	33	16,9	30,2	48,6	73,4	50,8	23,4	17,4	36,9	20,7	14,4	32,7	8,5	15,0	29,9
Mn ppm	1107,5	100,9	556,0	81,9	196,0	271,0	335,3	220,8	546,0	137,1	322,1	59,2	126,7	363,2	85,1	184,3	197,7
Ba ppm	139,9	70,3	94,6	29,1	59,6	89,6	115,0	77,9	75,6	45,5	112,0	52,5	39,8	67,8	27,4	83,0	32,5
Fe ppm	23219,9	109633,5	43162,3	87269,0	64715,7	93068,4	72048,3	61260,5	53927,9	110266,8	41795,8	150207,2	97812,4	129542,6	75614,6	153762,4	14776,3
Ti ppm	441,2	1017,3	620,4	603,6	529,9	1411,8	2556,8	1606,0	890,25	601,8	1074,9	458,0	293,7	806,3	366,8	949,6	511,3
Fe2O3 %	2,09	9,868	3,885	7,855	5,825	8,377	6,485	5,514	4,854	9,925	3,762	13,52	8,804	11,66	6,806	13,84	1,33
K2O %	0,2451	0,4364	0,2905	0,1797	0,236	0,4253	0,8048	0,6308	0,342	0,1894	0,7549	0,1973	0,1428	0,2441	0,0778	0,3303	0,0641
Na2O %	0,051	0,078	0,053	0,071	0,052	0,064	0,057	0,063	0,053	0,083	0,047	0,1	0,065	0,083	0,062	0,088	0,037
MgO %	0,343	0,321	0,606	0,16	0,206	0,248	0,439	0,406	0,369	0,226	0,831	0,028	0,222	0,198	0,192	0,025	0,398
Al2O3 %	0,931	3,09	2,608	0,845	1,747	2,656	6,356	4,624	1,67	1,718	5,867	0,923	0,2646	2,334	0,985	3,496	1,184
CaO %	42,83	1,355	28,97	1,519	12,52	16,21	21,58	15,67	19,81	2,499	2,655	1,13	7,409	18,17	1,827	5,811	6,981
TiO2 %	0,0736	0,1697	0,1035	0,1007	0,0884	0,2355	0,4265	0,2679	0,1485	0,1004	0,1793	0,0764	0,049	0,1345	0,0612	0,1584	0,0853
MnO %	0,143	0,01303	0,0718	0,01058	0,02531	0,0351	0,0433	0,02852	0,0705	0,01771	0,0416	0,00765	0,01636	0,0469	0,01099	0,0238	0,02553
Fe/Ti	1107,53	100,91	556,09	81,94	196,02	271,85	335,35	220,88	546,02	137,16	38,88	327,95	332,97	160,65	206,03	161,92	28,89
(Fe+Mn)/Ti	55,14	107,86	70,46	144,69	122,48	66,11	28,31	38,28	61,19	183,43	39,18	328,08	333,40	161,11	206,00	162,12	29,00

Ilgın sahasına ait bitümlü kilitaşı örneklerinin paleo-hidrotermal çökeltme koşulları Fe/Ti ve (Fe+Mn)/Ti oranlarına göre değerlendirilmiştir. İncelenen örneklerde Fe/Ti oranları 28,18-183,20 (ort: 126,34) oldukça yüksek olup bitümlü kilitaşı çökeltimi sırasında göl havzasının hidrotermal bir sıvıdan etkilendiğini işaret eder. Yine, örneklerdeki (Fe+Mn)/Ti oranlarının da 28,31-333,40 (ort: 126,79) oldukça yüksek olması bitümlü kilitaşılarının çökeltimi sırasında hidrotermal bir sıvıdan etkilendiğini desteklemektedir (Tablo 1).

3.2. Paleo-Hidrokinamik Olaylar

Zirkon mineralinde bulunan Zr elementi tipik olarak karasal kaynaklı terrijen bir elementtir ve güçlü paleo-hidrokinamik kuvvetle ilişkili olan sığ su koşullarında birikmektedir. Bu nedenle, Zr elementinin zenginleştiği killi kayaçlar organik madde birikimi ve korunması açısından uygun değildir. Bu özellikleri nedeniyle Zr'ca

zengin killi kayaçlar petrol kaynak kayaları olamazlar (Dana, Klein ve Hurlbut, 1985; Nesse, 2000). Rubidyum elementi ise aktif kimyasal özelliği nedeniyle, yer değiştirme veya taşınma eğilimindedir ve bu nedenle zayıf paleo-hidrokinamik kuvvetle ilişkili olan daha derin sularda çökeltlen killi sedimanlarda biriktirmektedir. Zr ve Rb elementlerinin bu özellikleri dikkate alınarak Zr/Rb oranı çeşitli araştırmacılar tarafından, sedimanter havzalarda paleo-hidrokinamik kuvvetle ilişkili olarak su derinliğinin değişmesinin belirlenmesi amacıyla kullanmıştır. Zr/Rb'nin <2.0 küçük değerleri zayıf paleo-hidrokinamik kuvveti gösterirken, Zr/Rb oranının 2.0-5.0 arasındaki değerleri ise güçlü paleo-hidrokinamik kuvveti gösterir (Teng, Hui, Xu ve Chen, 2005; Zhao, Li, Wang, Wu, Wang, Qin, Cheng ve Li, 2016).

Ilgın sahasına ait bitümlü kilitaşı örneklerinin Zr/Rb oranları incelendiğinde önce istifin tabanında (KI-Alt Linyit ve KI-1 no'lu örnek) "zayıf paleo-hidrokinamik bir kuvvetin" (0,71) etkili olduğu görülmektedir. Ancak,

bundan sonra üste doğru KI-Ara Linyit damarının çökelim sürecinin başlamasıyla birlikte “güçlü bir paleo-hidrokinamik kuvvetin (2,40-2,79) etkili olmaya başladığı görülmektedir. Ancak, sonrasında ise göl havzası KI-3 no’lu örnekten başlayarak üste doğru KI-8 no’lu örneğin çökeli mi tamamlanana kadar (0,82-1,97) “zayıf bir paleo-hidrokinamik kuvvetin” etkisi altında kalmıştır. Daha sonrasında ise, KI-8 no’lu örnekten başlayarak KI-14 no’lu örneğin çökeli mi sonuna kadar ise gölün ardışıklı olarak “güçlü paleo-hidrokinamik (2,06-2,86) ile zayıf paleo-hidrokinamik kuvvetlerin (1,78-1,80) etkisi altında kaldığı görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Ilgın Sahası Bitümlü Kıltaşı Örneklerinin Zr/Rb Oranları ve Paleo-Hidrokinamik Etki

Örnek No	Zr/Rb	Paleo-Hidrokinamik Olaylar
KI-14	2,69	Güçlü paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-13	2,06	Güçlü paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-12	1,80	Zayıf paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-11	1,78	Zayıf paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-10	2,27	Güçlü paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-9	2,86	Güçlü paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-8	1,97	Zayıf paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-7	1,80	Zayıf paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-6	1,73	Zayıf paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-5	1,66	Zayıf paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-4	0,82	Zayıf paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-3	1,95	Zayıf paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-3/2	2,40	Güçlü paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-2	2,79	Güçlü paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-Ara Linyit	9,06	Güçlü paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-1	0,71	Zayıf paleo-hidrokinamik kuvvet
KI-Alt Linyit	1,66	Zayıf paleo-hidrokinamik kuvvet

3.3.Paleo-Su Derinliği

Paleo-göl ortamlarında depolanmış olan bitümlü sedimanter killi kayalar için paleo-su derinliği, gölün üst su kolonundaki birincil organik üretkenlik ile göl tabanında da organik madde korunması ve zenginleşmeleri ile gölün depolanma redoks koşullarıyla çok yakından ilişkilidir. Wu ve Zhou (2000), tarafından Co elementinin incelenen bitümlü sedimanter killi kayalardaki zenginliği, göl havzasının paleo-su derinliğini nicel olarak hesaplamak için aşağıdaki formülle uygulanmıştır.

$$\text{Paleo-su derinliği} = 3.05 \times 105 / [V_o \times N_{co} / (S_{co} - t \times T_{co})]^{1.5}$$

Paleo-su derinliği (m);

Vo: Normal göl sedimanlarının birikme hızı (150 ila 300 m/Ma);

Nco: Normal gölsel sedimanlarının Co bolluğu (20 ppm);

SCO: Örnekteki Co bolluğu;

t: Co'ın provenanstan numunelere katkı değeri [(Örnekteki La)/(terrijen detritiklerde La (38.99 ppm))],

Tco: kaynağın Co bolluğu (4.68 ppm).

Genellikle, Li, Hinnov, Huang ve Ogg (2018) tarafından yapılan araştırmalarında 20,0 metrenin üzerindeki göller “yarı derin-derin göl” olarak tanımlanırken, 10,0 – 20,0 m arasındaki göl derinlikleri ise “sığ bir göl” olarak tanımlanmıştır. Bu araştırmacılara göre, normal bir gölün sediment depolanma oranı 150,0 ila 300m/Ma arasında değişmektedir. Zhang ve Zhao (2002)’ye göre de göl suyu derinliği 10,0 ila 20,0 m arasında ise “sığ bir göl” ve >20,0 metrenin üzerindeki göl derinlikleri ise “yarı derin - derin göl” olarak tanımlanır. Zhang ve Zhao (2002) bitümlü şeyllere ait yaptıkları örnek bir çalışmada Wu ve Zhou (2000) tarafından geliştirilen formülde geçen Vo değerini ortalama 200 m/Ma olarak dikkate almışlardır. Bu çalışmada da Vo değeri ortalama 200 m/Ma olarak dikkate alınmıştır.

Bu veriler ışığında Ilgın paleo-göl havzasının su derinliği, paleo-su derinliği = $3.05 \times 105 / [V_o \times N_{co} / (S_{co} - t \times T_{co})]^{1.5}$ eşitliği kullanılarak hesaplanmış ve 21,02 metre olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre Ilgın sahasına ait bitümlü kıltaşı örneklerinin “yarı derin-derin bir gölde” çökelmiş olduğunu söyleyebiliriz.

3.4.Paleo-Su Hidrokinamiği

Kayaların orijinal bileşiminin, sirkülasyon yatağından alınan ince taneli kırıntılı kayalar üzerindeki değişimi göz önüne alındığında, ilk önce devri daim birikiminin yaşanıp yaşanmayacağına karar vermek için “Bileşimsel Değişkenlik İndeksi (ICV)” uygulanmalıdır (Li, Li, Zhu, Wu, Cheng, Liu ve Zhao, 2017; Cullers ve Podkovyrov, 2000). Bu amaçla, tüm oksit konsantrasyonu, moleküler oranlarda hesaplanır. Formüller:

$$ICV = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO^* + MgO + MnO + TiO_2) / Al_2O_3.$$

CaO * silikat içinde CaO'yu temsil eder ve aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$CaO^* = CaO - (10/3) \times P_2O_5$$

Normal olarak, “Bileşimsel Değişkenlik İndeksi” (ICV)’nin >1.0’den yüksek olması örneklerin daha fazla kil mineraline sahip olduğunu ve bu örneklerin daha az tortu yeniden dolaşımına maruz kaldıklarını gösterir. ICV’nin <1.0’den küçük olması ise incelenen kayalar örneklerinin daha kaba kırıntılı malzemeden oluştuğunu, daha az kil mineraline sahip olduğunu ve kayaların daha fazla tortu geri dönüşümüne maruz kaldıkları ve güçlü hava koşullarından fazlaca

etkilendiği anlamına gelir (Li ve diğ., 2017; Cullers ve Podkovyrov, 2000).

İlgın sahası bitümlü killi kayaç örneklerinin ICV (ICVort= 14,31) değerleri beklendiği üzere >1.0'den çok yüksektir. İncelenen örneklerin ICV değerlerine göre çok yüksek kil içeriğine sahip oldukları, sakin ve durağan, enerjisi çok düşük su koşullarında çökeldiği anlaşılmaktadır (Tablo 3).

Tablo 3. İlgın Sahası Bitümlü Kayaç Örneklerinin ICV Değerlerine Göre Kil İçeriği ve Ortam Enerjisi Değerlendirmesi

Örnek Numarası	ICV	Kil İçeriği ve Ortam Enerjisi
KI-14	48,84	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-13	3,86	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-12	12,91	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-11	11,34	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-10	10,67	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-9	9,52	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-8	4,65	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-7	4,82	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-6	15,17	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-5	7,41	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-4	1,36	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-3/2	61,97	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-3	15,98	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-2	12,95	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-Ara Linyit	8,86	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-1	5,71	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı
KI-Alt Linyit	7,27	Yüksek kil içeriği ve enerjisi düşük su ortamı

3.5.Paleo-iklim Değerlendirmeleri

Ülkemizde son yıllarda Tersiyer boyunca paleo-iklimdeki değişimlerin belirlenmesi ve paleo-coğrafik yaklaşımlarla bu iklimsel değişimlerin ilişkilendirilmesi amacıyla pek çok bilimsel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar genellikle Miyosen süresince değişiklikler gösteren paleo-iklimsel ve paleo-ortamsal sorunların çözümüne yönelik olarak yapılmıştır (Akgün, Kayseri ve

Akkiraz, 2007; Akgün, Akkiraz, Üçbaş, Bozcu, Yeşilyurt ve Bozcu, 2013; Akkiraz, Akgün, Utescher, Bruch ve Mosbrugger, 2011; Akkiraz, 2011; Akkiraz, Akgün, Utescher, Wilde, Bruch, Mosbrugger ve Üçbaş, 2012; Kayseri, 2014). Ancak, Türkiye'de paleo-iklimdeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla en kapsamlı paleo-bitkisel ve paleo-iklimsel çalışma ise ilk kez Akgün ve diğ., (2007) tarafından ortaya konulmuştur. İlgın (Konya) linyitlerinin yaşı palinolojik verilere dayanarak Karayiğit ve diğ. (1999) tarafından Orta Miyosen olarak belirlenmiştir. Yapılan bilimsel çalışmalara göre Erken Miyosen dönemi buzul dönemi olarak anılır ve Erken Miyosen'de ısı değerlerinde belirgin bir düşüş tanımlanmıştır. Erken Miyosen'den Orta Miyosen'e doğru ısı değerlerinde düzenli bir artış gözlenmiş ve bu artış Orta Miyosen'de (geç Burdigaliyen-Langiyen) maksimum değerine ulaşmış olup Orta Miyosen dönemi de sıcak iklim dönemi olarak adlandırılmıştır. Bu sıcak iklim koşullarının ısı değerlerinde Geç Miyosen'den Pliyosen'e doğru ise düzenli bir şekilde düşüş belirlenmiştir. (Kayseri ve Akgün, 2010). Strömberg, Werdelin, Friis ve Saraç (2007) Orta Türkiye'de Erken Miyosen'de nispeten açık otların hakim olduğu habitatların etkili olduğunu ileri sürmüşlerdir. Araştırmacılara göre, açık habitat otlarının ekolojik hakimiyetinin artmasının sonucunda Türkiye'de Miyosen boyunca ağaç örtüsünde genel bir azalma meydana gelmiş ve bu durumun ise yarı nemli hatta kuru ve sıcak iklim koşullarını gösterdiğini ileri sürmüşlerdir.

3.5.1.Sr/Cu Oranına Göre Paleo-iklim

Sedimentteki artan Sr miktarı dolomitik çamurtaşlarının meydana geldiği durumlar haricinde, Sr miktarındaki artış dolomitik faz ile değil fosfatik nodüllerin ortaya çıkışıyla ilişkilidir. Fosfat biriktirme dönemi de, fosfat nodüllerinin oluşumu ile ilişkilidir; öte yandan denizel ortam koşullarında ise genellikle upwelling (deniz suyunun dipten yukarıya doğru yükselişi) koşullarının göstergesidir. Sr çoğunlukla bozmuş ve altere olmuş kayaçlarda çok yüksek aktivite gösteren bir elementtir, bu nedenle altere ve bozmuş kayaçlarda kolaylıkla çözülür. Sr'un bu özellikleri ve sedimentteki çok yüksek içeriği genellikle, deniz suyu girişi olmayan gölsel çökme ortamındaki sıcak ve kurak bir iklimden kaynaklanan göl suyunun tuzlanmasına işaret eder (Couch, 1971). Bakır ise sülfüfil elementlerden biridir, Cu²⁺ indirgen ortamlarda Cu₂S'ye indirgenebilir ve organik maddece zengin ortamlarda çökler. Buna ilave olarak, bir organizmadaki Cu zenginleşmesi belirli bir miktarı geçince, sıcak ve nemli bir iklimde depolanan organik maddece zengin killi kayaçlarda genellikle birikme ve zenginleşme eğilimindedir. Kayaçlardaki Sr ve Cu konsantrasyonları göl havzasının ölçeği, açık denize olan mesafesi ve gölün su derinliği tarafından etkilenecektir. Bununla birlikte, yüksek Sr/Cu

oranlarının sıcak ve kurak bir iklimi yansıttığı ve düşük Sr/Cu oranının da sıcak ve nemli bir iklimi işaret ettiği değerlendirilmektedir (Tablo 4). Çeşitli araştırmacılar tarafından Sr, Cu ve Rb gibi elementlerin oranları genellikle paleo-iklim yeniden yapılandırmalarında kullanılmaktadır. Sr/Cu ve Sr/Ba, Rb/Sr oranları paleo-iklimi yeniden yapılandırmak ve iklimi eski haline getirmek için çok yaygın olarak kullanılır (Chen, Zheng, Tu ve Zhu, 1999; Lerman, Imboden, Gat ve Chou, 1995; Liang, Xiao, Xiao ve Lin, 2015; Fu, Li, Xu ve Niu, 2018; Wang, Fu, Feng, Song, Wang, Che ve Zeng, 2017). Düşük Sr/Cu oranlarına sahip çökeltiler, sıcak ve nemli iklim koşullarını temsil ederken, yüksek Sr/Cu oranları, sıcak, kurak ve düşük ayrışma oranlı iklim koşullarını göstermektedir. (Lerman ve diğ., 1995; Hu, Liu, Liu, Sun, Hu, Meng ve Liu, 2012; Jia, Liu, Bechtel, Strobl ve Sun, 2013). Sr/Cu oranı 1.3-5.0 arası sıcak ve nemli iklimi ve genel olarak da Sr/Cu oranı >5.0'den büyükse de sıcak ve kurak bir iklimi göstermektedir (Lerman, 1978, Abraham, Kautz, Tillmanns ve Walenta, 1978). Xu, Shan, Lin, Hao, Liu, Wang, Shen, Rexiti, Li ve Li (2022)'ye göre ise, Sr/Cu oranlarının 1,3-5,0, 5,0-10,0 ve >10,0 değerleri genellikle sırasıyla sıcak ve nemli iklimi, yarı nemli-yarı kurak iklimi ve sıcak ve kurak bir iklimi gösterir.

Tablo 4. Sr/Cu Değerlerine Göre İklim Koşulu (Wignall ve Twitchett, 1996; Wang ve diğ., 2017; Fu ve diğ., 2018)

Sr/Cu Değeri	Paleo-iklim Koşulu
>10.0	Sıcak ve Kurak iklim
5.0 -10.0	Yarı kurak ve yarı nemli iklim
<5.0	Sıcak ve nemli iklim

İlgın sahası paleo-göl ortamında Sr/Cu (ort: 37,10) oranlarının sistematik olarak tabandan tavana doğru bir artış gösterdiği görülmektedir. İlgın sahasından alınan bitümlü kiltası örneklerinin Sr/Cu oranlarına göre paleo-iklim değerlendirmelerinde bitümlü kiltası çökelimi başladığında havzanın "sıcak ve nemli bir iklim koşulunda olduğunu görmekteyiz. Ancak, üste doğru KI-4 numaralı örneğin çökelimine kadar geçen sürede havzada "sıcak ve nemli iklim ile sıcak ve kurak iklim" koşulları arasında iklimde salınımların olduğu görülmektedir. KI-4 numaralı örneğin çökelimi esnasında ise iklim kısmen daha yağışlı bir dönem içerisine girmiş olup, havzada "yarı kurak ve yarı nemli iklim" koşulları hüküm sürmüştür. KI-5 numaralı örnekten itibaren KI-13 numaralı örneğin çökelimine kadar geçen sürede ise havzada "sıcak ve kurak iklim" koşulları etkili olmuştur. KI-13 numaralı örneğin çökelimi esnasında ise yine "yarı kurak ve yarı nemli iklim" koşulları hüküm sürmüştür ve devamında ise yine havzada "çok sıcak ve kurak iklim" koşulu hakim olmuştur (Tablo 5, Şekil 4).

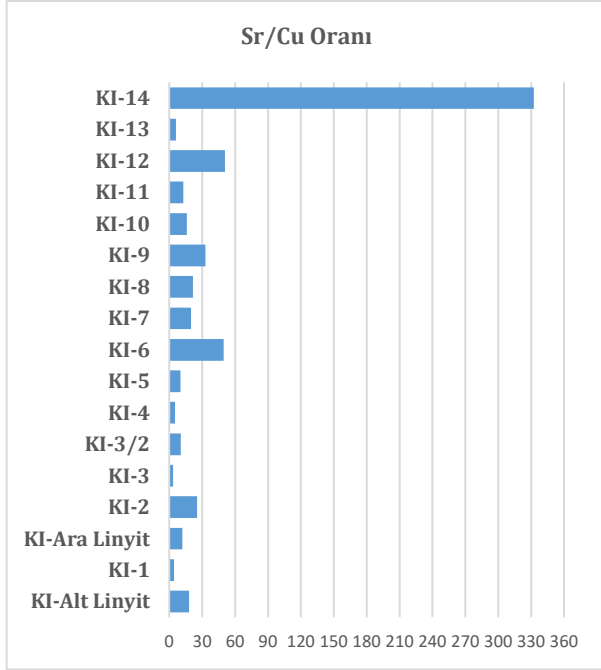
Tablo 5. İlgın Sahası Bitümlü Kiltası Örneklerinin Sr/Cu Oranlarına Göre Paleo-İklim Değerlendirmesi

Örnek No	Sr/Cu	Paleo-iklim Koşulu
KI-14	332,53	Sıcak ve kurak iklim
KI-13	6,14	Yarı kurak ve yarı nemli iklim
KI-12	50,58	Sıcak ve kurak iklim
KI-11	12,63	Sıcak ve kurak iklim
KI-10	16,09	Sıcak ve kurak iklim
KI-9	33,01	Sıcak ve kurak iklim
KI-8	21,49	Sıcak ve kurak iklim
KI-7	19,81	Sıcak ve kurak iklim
KI-6	49,61	Sıcak ve kurak iklim
KI-5	10,15	Sıcak ve kurak iklim
KI-4	5,29	Yarı kurak ve yarı nemli iklim
KI-3/2	10,42	Sıcak ve kurak iklim
KI-3	3,43	Sıcak ve nemli iklim
KI-2	25,31	Sıcak ve kurak iklim
KI-Ara Linyit	11,98	Sıcak ve kurak iklim
KI-1	4,16	Sıcak ve nemli iklim
KI-Alt Linyit	18,13	Sıcak ve nemli iklim

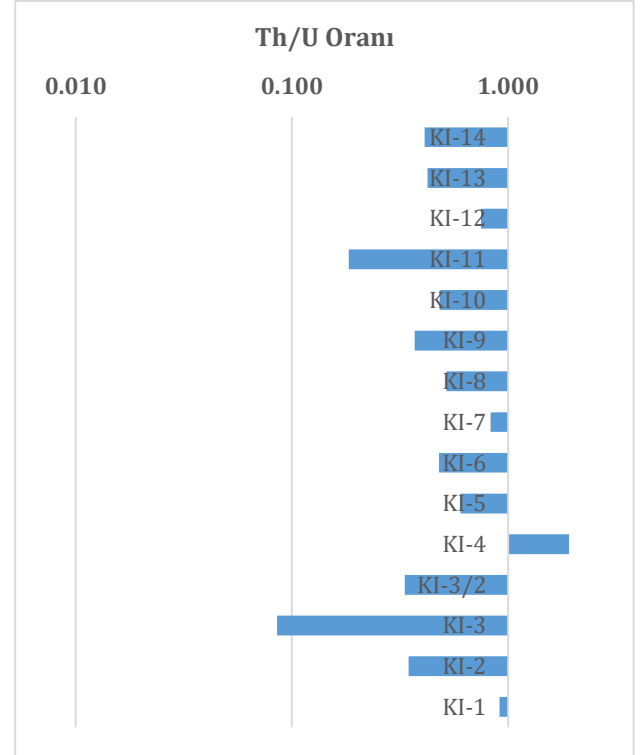
3.5.2.Th/U Oranına Göre Paleo-iklim

Th/U oranının düşük değerleri sıcak ve kurak iklim değerlerini gösterirken, yüksek Th/U oranları sıcak-nemli bir iklime işaret eder ve sürekli paleo-iklim gelişiminin belirlenmesine yardımcı olarak paleo-iklim dalgalanmalarının yüzeysel olarak anlaşılmasını sağlar (Xu, Wang, Ma, Meng, Bi ve Jiang, 2021).

İlgın sahasından alınan bitümlü kiltası örneklerinin Th/U oranı (Th/Uort: 0,34) ortalaması çok düşük olup, Th/Uort değerlerine göre genel olarak İlgın havzasında bitümlü kiltası çökelimi sırasında hüküm süren paleo-iklimin oldukça sıcak ve kurak olduğuna işaret eder (Tablo 6, Şekil 5). İlgın havzasında Th/U oranına göre paleo-iklim değerlendirmelerinde, KI-4 numaralı örneğin çökelimine kadar geçen sürede havzada oldukça sıcak ve kurak bir iklimin hüküm sürdüğü görülmektedir. KI-4 numaralı örneğin çökelim sürecinde ise iklimin kısmen nemli ve yağışlı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak, KI-4 numaralı örneğin çökelim sürecinden sonra iklim tekrar oldukça sıcak ve kurak bir döneme girmiştir.



Şekil 4. Ilgın Sahası Bitümlü Kiltası Örneklerinin Sr/Cu Oranlarına Göre Paleo-İklim Değerlendirmesi



Şekil 5. Ilgın Sahası Bitümlü Kiltası Örneklerinin Th/U Oranlarına Göre Paleo-İklim Değerlendirmesi

Tablo 6. Ilgın Sahası Bitümlü Kiltası Örneklerinin Th/U Oranlarına Göre Paleo-İklim Değerlendirmesi

Örnek No	Th/U Oranı	Paleo-İklim Koşulu
KI-14	0,410	Sıcak ve Kurak iklim
KI-13	0,424	Sıcak ve Kurak iklim
KI-12	0,750	Sıcak ve Kurak iklim
KI-11	0,183	Sıcak ve Kurak iklim
KI-10	0,483	Sıcak ve Kurak iklim
KI-9	0,370	Sıcak ve Kurak iklim
KI-8	0,519	Sıcak ve Kurak iklim
KI-7	0,830	Sıcak ve Kurak iklim
KI-6	0,480	Sıcak ve Kurak iklim
KI-5	0,603	Sıcak ve Kurak iklim
KI-4	1,913	Nemli iklim
KI-3/2	0,333	Sıcak ve Kurak iklim
KI-3	0,085	Sıcak ve Kurak iklim
KI-2	0,346	Sıcak ve Kurak iklim
KI-Ara Linyit	0,738	Sıcak ve Kurak iklim
KI-1	0,914	Sıcak ve Kurak iklim
KI-Alt Linyit	0,096	Sıcak ve Kurak iklim

3.5.3. Rb/Sr Oranına Göre Paleo-iklim

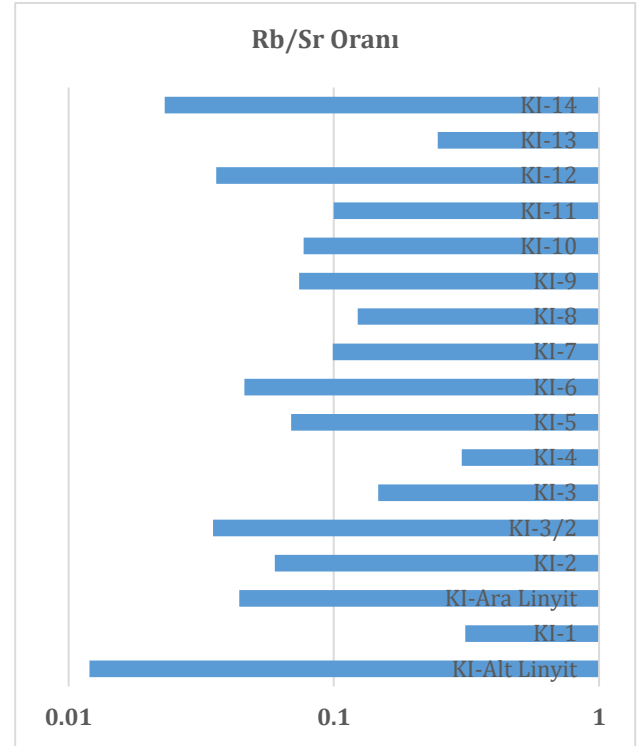
Rb/Sr ve Ba/Sr oranları gibi eser element indeksleri de iklim değişikliğinin temsili göstergeleri olarak kullanılmıştır. Bu oranlar paleo-iklimsel değişimlere manyetik alınganlık ve tane boyutundan daha hassastır (Chen ve diğ., 1999; Ding, Valkiers, Kipphardt, De Bievre, Taylor, Gonfiantini ve Krouse, 2001) ve bu nedenle paleo-iklim değişikliklerinin belirlenmesi için güvenilir bir parametre olmaktadır (Yang, Cui, Yi, Zhang ve Liu, 2004). Rb/Sr oranı, Rb'nin ilişkili olduğu karbonatların hava koşullarına karşı direncindeki farklılıklara dayanan bir katsayıdır (Gallagher ve Sheldon, 2013). Lerman ve diğ. (1995)'e göre, yüksek Rb/Sr oranlarına sahip çökeltiler, sıcak ve nemli iklim koşullarını temsil ederken, düşük Rb/Sr oranları, sıcak, kurak ve düşük ayrışma oranlı iklim koşullarını göstermektedir. Rb/Sr ve Ba/Sr oranlarının yüksek değerleri daha yüksek çökelmeyi ve bu durum da liç ve kil yıkama oranının arttığını gösterir. Örneğin, Rb/Sr oranları, kimyasal ayrışma derecesini ve jeolojik zaman ölçeklerinde iklim koşullarındaki değişiklikleri yeniden yapılandırmak için kullanılmıştır (Chen ve diğ., 1999; Fu ve diğ., 2018; Jin ve Zhang 2002; Meyer, Davies ve Stuut, 2011). Çevresel araştırmalarda, göl sedimanlarındaki genellikle daha düşük Rb/Sr oranlarının daha yüksek ayrışma dereceleriyle ilişkili olduğu ifade edilmektedir (Chen ve diğ., 1999; Jin, Li, Cao, Wang ve Yu, 2006). Sr kimyasal ayrışma yoğunluğu arttırıldığında tortulardan kolayca çıkarılabilirken, Rb ise ayrışma sırasında inert davranış sergiler. Daha

yüksek Sr içeren ayrışma çözeltileri göl sedimanlarında birikerek Sr'un Rb'na göre göreceli olarak zenginleşmesine neden olur. Bu nedenle, göl sedimanlarındaki Rb/Sr oranlarındaki büyük değişkenlik, kaynak alandaki kimyasal ayrışma yoğunluğu ile negatif bir korelasyona işaret etmektedir (Chen ve diğ., 1999; Jin ve diğ., 2006). Kalsiyum içeren mineraller, K-içeren minerallere kıyasla kolayca alterasyona uğradığından, kimyasal ayrışmayla Ca ve Sr kolayca mobil olabilmektedir. Sonuç olarak, Sr çözeltilere geçer ve tercihen otojenik karbonatlara dahil edilerek göle taşınır (Chen ve diğ., 1999). Bu nedenle, nemli bir iklimde, daha fazla yağış ve güçlü hava koşulları nedeniyle, Sr'nin yıkanması kolaydır ve bu da göl sedimanlarında daha yüksek bir Rb/Sr oranıyla sonuçlanır. Aksine, kurak bir iklimde ise, Rb/Sr oranı nispeten düşüktür. Bu nedenle, sıcak-kurak iklim dönemlerinde Rb/Sr oranının düştüğü ifade edilmektedir (Jin ve Zhang 2002; Meyer ve diğ., 2011). Rb/Sr değerinin yüksek olması nemli bir iklimi, düşük olması ise kurak bir iklimi gösterir (Chen ve diğ., 1999; Fu ve diğ., 2018).

İlgın havzasından derlenen bitümlü kayaç örneklerinin tamamında tabandan tavana kadar Rb/Sr oranlarının çok düşük olduğu görülmektedir (Tablo 7, Şekil 6). İncelenen örneklerinin Rb/Sr oranı ortalaması da (Rb/Srort: 0,106) oldukça düşük olup, bu durum, İlgın havzasında bitümlü kilitaşlarının çökeliği sırasında paleo-iklimin oldukça "sıcak ve kurak" olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 7. İlgın Sahası Bitümlü Kilitaş Örneklerinin Rb/Sr Oranlarına Göre Paleo-İklim Değerlendirmesi

Örnek No	Rb/Sr Oranı	Paleo-İklim Koşulu
KI-14	0,02	Sıcak ve Kurak iklim
KI-13	0,24	Sıcak ve Kurak iklim
KI-12	0,03	Sıcak ve Kurak iklim
KI-11	0,10	Sıcak ve Kurak iklim
KI-10	0,07	Sıcak ve Kurak iklim
KI-9	0,07	Sıcak ve Kurak iklim
KI-8	0,12	Sıcak ve Kurak iklim
KI-7	0,09	Sıcak ve Kurak iklim
KI-6	0,04	Sıcak ve Kurak iklim
KI-5	0,06	Sıcak ve Kurak iklim
KI-4	0,30	Sıcak ve Kurak iklim
KI-3/2	0,03	Sıcak ve Kurak iklim
KI-3	0,14	Sıcak ve Kurak iklim
KI-2	0,06	Sıcak ve Kurak iklim
KI-Ara Linyit	0,04	Sıcak ve Kurak iklim
KI-1	0,31	Sıcak ve Kurak iklim
KI-Alt Linyit	0,01	Sıcak ve Kurak iklim



Şekil 6. İlgın Sahası Bitümlü Kilitaş Örneklerinin Rb/Sr Oranlarına Göre Paleo-İklim Değerlendirmesi

3.5.4. Sr/Ba Oranına Göre Paleo-iklim

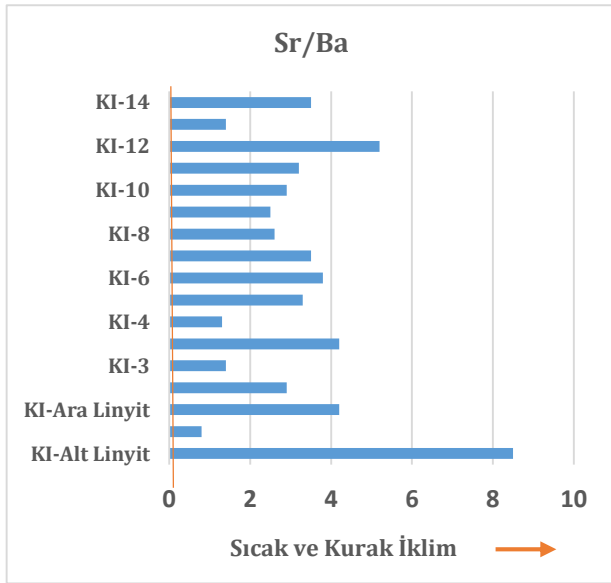
Sr/Ba oranlarının > 1.0 büyük olduğu değerler kurak ve sıcak iklimi gösterirken, < 1.0'den küçük olduğu değerlerde nemli iklim koşullarını gösterir (Dai, Bechtel, Eble, Flores, French, Graham, Hood, Hower, Korasidis ve Moore, 2020). İncelenen örneklerinin Sr/Ba oranı değerlerine göre tabandaki KI-Alt Linyit kömür çökeliği sürecinde iklim oldukça kurak ve sıcak iken, daha sonra KI-1 numaralı bitümlü kilitaş örneğinin çökeliği sürecinde değişerek nemli iklim koşullarına girmiştir. Ancak, daha sonra ise iklim süratli bir şekilde tekrar değişerek tüm bitümlü kilitaş istifinin çökeliği sürecinde oldukça kurak ve sıcak bir sürece dönüşmüştür. İlgın havzasında bitümlü kilitaş örneklerinin Sr/Ba oranı ortalaması (Sr/Ba ort:3,2) oldukça yüksek olup, Sr/Ba ort. değerlerine göre bitümlü kilitaş çökeliği sırasında İlgın havzasında paleo-iklimin oldukça sıcak ve kurak olduğunu söyleyebiliriz (Tablo 8, Şekil 7).

İlgın sahasında Sr/Ba oranlarına göre yapılan paleo-tuzluluk incelemelerinde de Sr/Ba oranı değerlerinin 0,81-5,24 arasında değiştiği belirlenmiştir. Yapılan paleo-tuzluluk değerlendirmelere göre tabanda kömür çökeliği sırasında gölün başlangıçta acı su (Sr/Ba:0,81) özelliğinde olduğu ancak gölün gittikçe derinleşmesiyle birlikte bitümlü kilitaş çökeliği sırasında ise tamamen tuzlu su (Sr/Ba:1,32-5,24) özelliği kazandığı belirlenmiştir (Sarı, A., İsmayılzade, K., Akıska, E. ve Erol, F. 2024a). Ancak İlgın linyitlerinin feldspat minerallerinin varlığı dikkate alındığında incelenen

örneklerindeki kısmen yüksek Sr/Ba oranlarının yüksek çıkmasına neden olabileceği de göz önüne alınmalıdır (Karayiğit ve diğ., 1999).

Tablo 8. Ilgın Sahası Bitümlü Kiltası Örneklerinin Sr/Ba Oranlarına Göre Paleo-İklim Değerlendirmesi

Örnek No	Sr/Ba oranı	Paleo-İklim Koşulu
KI-14	3,5	Sıcak ve Kurak iklim
KI-13	1,4	Sıcak ve Kurak iklim
KI-12	5,2	Sıcak ve Kurak iklim
KI-11	3,2	Sıcak ve Kurak iklim
KI-10	2,9	Sıcak ve Kurak iklim
KI-9	2,5	Sıcak ve Kurak iklim
KI-8	2,6	Sıcak ve Kurak iklim
KI-7	3,5	Sıcak ve Kurak iklim
KI-6	3,8	Sıcak ve Kurak iklim
KI-5	3,3	Sıcak ve Kurak iklim
KI-4	1,3	Sıcak ve Kurak iklim
KI-3/2	4,2	Sıcak ve Kurak iklim
KI-3	1,4	Sıcak ve Kurak iklim
KI-2	2,9	Sıcak ve Kurak iklim
KI-Ara Linyit	4,2	Sıcak ve Kurak iklim
KI-1	0,8	Nemli iklim
KI-Alt Linyit	8,5	Sıcak ve Kurak iklim



Şekil 7. Ilgın Sahası Bitümlü Kiltası Örneklerinin Sr/Ba Oranlarına Göre Paleo-İklim Değerlendirmesi

3.5.5. Fe/Mn Oranına Göre Paleo-iklim

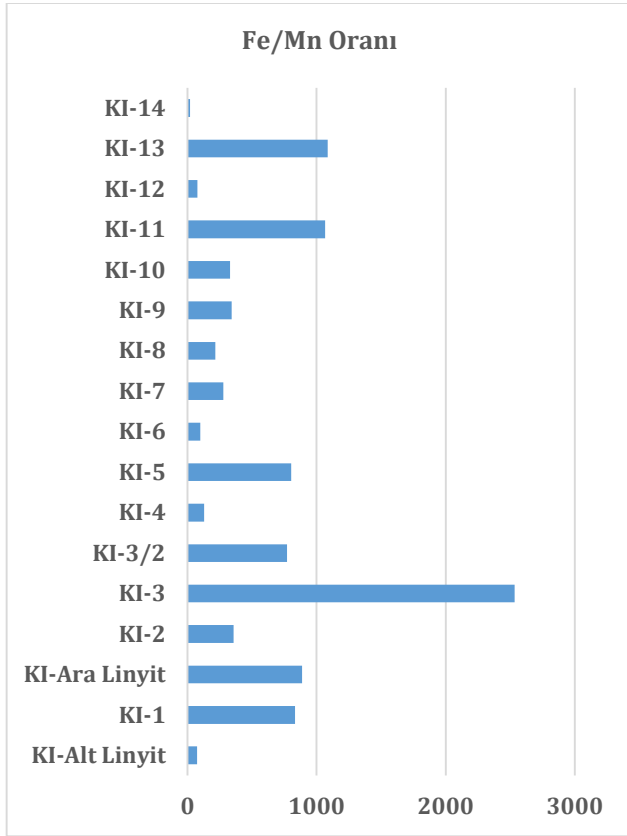
Kuru-sıcak iklimlerdeki su ortamlarında Manganez konsantrasyonu genellikle yüksektir, demir'in koloidal demir hidroksitlerden hızla çökelmiş olduğu nispeten ılık-nemli iklim ortamlarında ise Mn içeriği düşüktür (Yan, Wang, Mischke, Wang, Shen, Yu ve Meng, 2021). Reheis'e (1990) göre, Fe/Mn ve Mg/Ca oranları paleo-iklim koşullarını yeniden yapılandırmak için temsili olarak kullanılabilir, ancak Fe/Mn oranlarının aynı zamanda su sütunu redoks koşullarından etkileneceğini de unutmamak gerekir. Mn, kuru-sıcak iklim koşulları altında biriken

çökeltilerde yüksek kalma eğilimindeyken, nispeten ılık-nemli iklim koşulları altında biriken çökeltilerde ise daha düşük olabilir. Buna karşılık, ılık-nemli iklim koşulları altında biriken çökeltilerde daha yoğun kimyasal ayrışma ile Fe, ayrılmış çökeltiler içinde tutulur (Poulton ve Raiswell, 2002). Bu nedenle, daha yüksek Fe/Mn oranı sıcak ve nemli bir iklime işaret ederken, daha düşük Fe/Mn oranı da genellikle soğuk ve kurak bir iklimle ilişkilidir (Reheis, 1990). Yan ve diğ., (2021)'ne göre ise şeyllerde >1.0'in üzerindeki yüksek Fe/Mn oranları sıcak ve nemli iklimlerle ilişkilendirilirken, <1.0'in altındaki Fe/Mn oranları ise sıcak ve kurak iklimlerle ilişkilidir.

İncelenen bitümlü kayaç örneklerinin Fe/Mn oranı ortalaması (Fe/Mn_{ort} : 596,33) çok yüksek olup, bu değerlere göre Ilgın havzasında bitümlü kiltası çökelimi sırasında hüküm süren paleo-iklimin oldukça sıcak ve nemli olduğunu söyleyebiliriz (Tablo 9, Şekil 8).

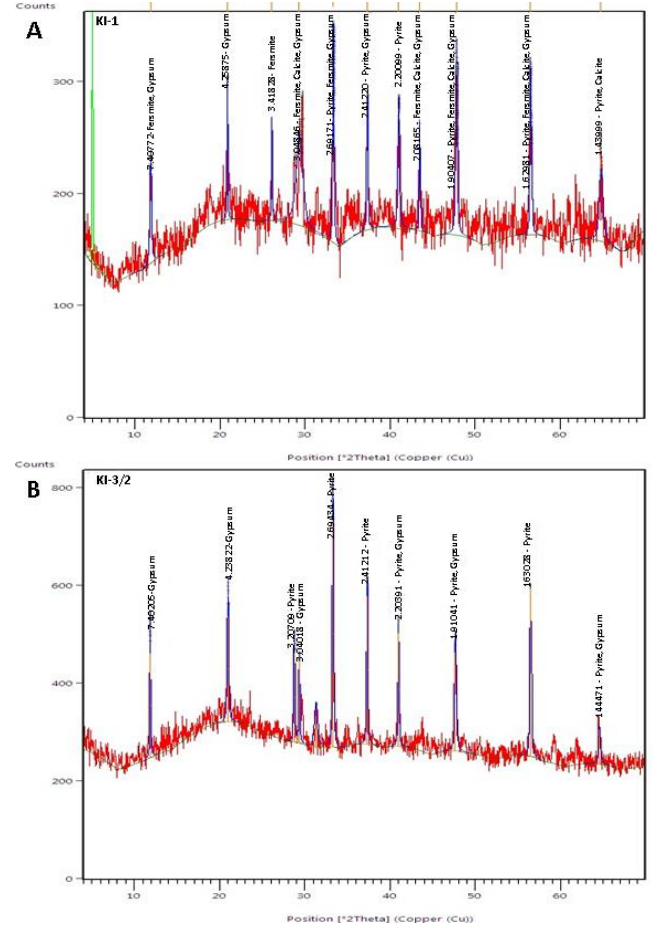
Tablo 9. Ilgın Sahası Bitümlü Kiltası Örneklerinin Fe/Mn Oranlarına Göre Paleo-İklim Değerlendirmesi

Örnek No	Fe/Mn Oranı	Paleo-İklim Koşulu
KI-14	20,96	Sıcak ve Nemli iklim
KI-13	1086,36	Sıcak ve Nemli iklim
KI-12	77,61	Sıcak ve Nemli iklim
KI-11	1065,00	Sıcak ve Nemli iklim
KI-10	330,13	Sıcak ve Nemli iklim
KI-9	342,35	Sıcak ve Nemli iklim
KI-8	214,83	Sıcak ve Nemli iklim
KI-7	277,33	Sıcak ve Nemli iklim
KI-6	98,765	Sıcak ve Nemli iklim
KI-5	803,90	Sıcak ve Nemli iklim
KI-4	129,72	Sıcak ve Nemli iklim
KI-3/2	771,95	Sıcak ve Nemli iklim
KI-3	2535,17	Sıcak ve Nemli iklim
KI-2	356,63	Sıcak ve Nemli iklim
KI-Ara Linyit	888,00	Sıcak ve Nemli iklim
KI-1	834,16	Sıcak ve Nemli iklim
KI-Alt Linyit	74,00	Sıcak ve Nemli iklim



Şekil 8. Ilgın Sahası Bitümlü Kilitaşı Örneklerinin Fe/Mn Oranlarına Göre Paleo-İklim Değerlendirmesi

İlgın sahasında bitümlü kilitaşı örneklerindeki Feort: 81299,06 iken, Mnort: 287,78'dir. İncelenen örneklerde Mnort ortalaması her ne kadar yüksek olsa da havzada bitümlü kilitaşı örneklerinin çökelişi sırasında göl suyunda çok fazla miktarda çözünmüş halde Fe'in var olduğunu görmekteyiz. Bitümlü kayaçlara ait incelenen KI-1 numaralı örneğin tüm kayaç XRD grafiği paterninde Jips: $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$; Kalsit: (CaCO_3) ve Pirit: (FeS_2) minerallerinin hakim oldukları görülmektedir (Şekil 9a). Yine, incelenen KI-3/2 numaralı bitümlü kilitaşı örneğinin tüm kayaç XRD grafiği paterninde de piritin hakim mineral olduğu görülmektedir (Şekil 9b). Yapılan XRD incelemelerinde piritin (FeS_2) yaygın mineral olarak bulunması havzadaki bitümlü kilitaşı çökelişi sırasında göl suyunda oldukça fazla miktardaki Fe'in varlığını gösterir. Bu da bize Ilgın havzasında bitümlü kilitaşı çökelişi sırasında ya iklimin oldukça sıcak ve nemli olduğunu ya da havzada ana kayalardan veya havzaya yan kayaçlardan gelen Fe miktarının oldukça yüksek olduğuna işaret eder. Yine, bu durum bize havzada etkili olmuş olan iki farklı ikliminin de var olabileceği çağrıştırır ki; bunlar, ya diğer iklim göstergelerinin işaret etmiş olduğu oldukça sıcak ve kurak bir iklimi ya da Fe/Mn oranına göre oldukça sıcak ve nemli bir iklimin hüküm sürmüş olduğudur.



Şekil 9a, b: Tüm Kayaç XRD Grafiği Paterni.

Ancak, Sr/Cu, Th/U, Rb/Sr ve Sr/Ba gibi paleo-iklim parametrelerinin hepsinin oldukça sıcak ve kurak bir iklimi işaret etmesi Ilgın havzasında bitümlü kilitaşı çökelişi sırasında hüküm süren paleo-iklimin oldukça sıcak ve kurak olma ihtimalini kuvvetlendirmektedir.

3.6. Organik Madde Zenginleşmesinde Kükürt'ün etkisi

Genellikle organik madde birikimi yönünden sülfidik anoksik su kütlesi altında bulunan killi çökeltiler oksijenli su kütlesi altında bulunan çökeltilerden daha zengindirler. Çünkü, oksijenlenmiş tortullardaki ölü organik maddeler biyotürbasyona bağlı olarak anoksik çevrede olanlardan daha uzun süre oksijenlenmeye maruz kalır. Sülfidik anoksik oksijensiz sulu ortam, neredeyse bütün canlı hareketliliğinin sona erdiği ve su kolunun karşılayabileceği oksijen miktarının yetersiz olduğu yerlerde ortaya çıkar. Anoksik su kolunun altında oksijen azalması, H_2S gazının bulunması ve biyotürbilasyonun yokluğu killi katmanların organik maddece zenginleşmesiyle sonuçlanır. Ilgın havzasında redoksa duyarlı iz elementlerin: V, U, Mo, Zn, Ni, Cu ve Co'nun jeokimyasal davranışlarının incelenmesi ve havzanın redoks koşulunun organik madde

birikimindeki etkisi üzere yapılan bilimsel çalışmada çökeltme ortamının sülfidik suboksik/anoksik şartlarda olduğu belirlenmiştir (Sarı, A., İsmayılzade, K., Akıska, S. ve Erol, F. 2024b). Yine, XRD incelemesi yapılan KI-1 ve KI-3/2 numaralı bitümlü kilitaşı örneklerinin tüm kayaç XRD grafiği paternlerinde de pirit (FeS_2) mineralinin yaygın olarak bulunması redoks koşulunun organik madde korunumu ve zenginleşmesi açısından çok elverişli olan sülfidik anoksik koşullarda olduğuna işaret eder. İncelenen bitümlü kilitaşlarına ait %TOC değerleri %14,52-44,44 arasında değişirken kükürt değerleri ise 17698,1-116665,7 ppm arasında değişmektedir (Tablo 1). Bitümlü kilitaşı örneklerinde görülen çok yüksek organik madde varlığının sebebi yukarıda da açıklandığı üzere, örneklerin çökeltimi sırasında ortamdaki çok yüksek kükürt ve H_2S varlığıdır. Çok yüksek kükürt ve H_2S ortamın redoks koşulunun sülfidik anoksik şartlarda olmasına yol açar. İncelenen örneklerinin tüm kayaç XRD grafiği paternlerinde pirit (FeS_2) mineralinin bulunması da bunun bir sonucudur.

4. Tartışma ve Sonuçlar

Hidrotermal akışkan faaliyetleri sedimanter havzalarda oldukça yaygındır ve bu süreçlerin killi sedimanter kayalarda zenginleşen iz elementler ile kilitaşı ve şeyl gibi killi kayaların organik madde miktarlarını etkilediği açıkça görülebilir (Chu ve diğ., 2016). Genel olarak, paleo-iklim ve su tuzluluğu arasındaki ilişkiye göre; ılık-nemli iklimlerin tatlı su, kuru-sıcak iklimlerin tuzlu su ve hafif kuru-sıcak iklimlerinde acı su ortamlarına karşılık geldiği söylenebilir. Okyanus suyu sıcaklığında Geç-Orta Miyosen geçişi boyunca (geç Burdigaliyen-Langiyen zaman aralığında) belirgin bir artış tanımlanmış ve dünya ölçeğinde tanımlanan bu sıcaklık artışı "Orta Miyosen sıcak iklim dönemi" olarak adlandırılmıştır (Mosbrugger, Utescher ve Dilcher, 2005; Zachos, Pagani, Sloan, Thomas ve Billups, 2001). Kayseri ve Akgün (2010) ile Strömberg ve diğ., (2007)'ye göre de Miyosen dönemi Orta Türkiye'de oldukça sıcak bir döneme işaret eder. Akkiraz ve diğ. (2011)'in polen analizlerine dayanarak yaptıkları bilimsel çalışmaya göre de Erken-orta Serravaliyen (Orta Miyosen) dönemi Orta Türkiye'de oldukça sıcak koşullardadır. Ancak, daha sonra Erken-orta Serravaliyen'deki sıcak koşullar yerini Tortoniyen'deki (Geç Miyosen) ılıman koşullara bırakmıştır. Bu çalışmada, Ilgın (Konya) havzasında gözlenen bitümlü kilitaşlarının çökeltimi sırasındaki paleo-iklimin belirlenmesinde Sr/Cu, Th/U, Rb/Sr, Sr/Ba ve Fe/Mn oranları kullanılmış olup, belirlenen paleo-iklimin başta Akkiraz ve diğ. (2011) olmak üzere diğer araştırmacıların kullandıkları polen incelemelerine göre buldukları sonuçlarla benzerdir. Gerek bu çalışmadaki element analizleri ile yapılan paleo-iklim çalışmaları ve gerekse daha önceki araştırmacıların palinolojik incelemelerine göre yaptıkları paleo-iklim çalışmalarının her ikisi de Ilgın (Konya) havzasında

bitümlü kilitaşlarının çökeltimi sırasındaki paleo-iklimin oldukça sıcak ve kurak olduğunu göstermektedir.

Ilgın havzasında yapılan paleo-iklim ve su tuzluluğu çalışmalarında Sr/Cu, Sr/Ba ve Fe/Mn oranları benzer değişim eğilimleri göstermektedir. Ilgın sahasında gerek Sr/Ba, Rb/K oranları ve gerekse de %TOC/%S oranlarına göre yapılan paleo-tuzluluk çalışmalarında göl havzasının oldukça tuzlu olduğu belirlenmiş olup, tuzluluğun da temel olarak sıcak ve kurak iklim tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Çalışma alanında kuru ve sıcak iklim nedeniyle gölün yoğun bir şekilde buharlaşması tuzluluğun artmasının ana nedenidir. Çeşitli araştırmacılar tarafından göl tortul tarihçesinin en iyi taşıyıcıları olarak element oranları çeşitli havzaların paleo-iklim göstergelerinde, kıtasal paleo-iklim evrim süreçlerinin yeniden yapılandırması için önerilmiştir (Zhang, Liu, Liu ve Li, 2021; Xu ve diğ., 2022). Paleo-iklim, jeolojik tarihte belirli bir evrenin iklimi olup, kaynak alan araştırması içinde büyük önem taşımaktadır (Ramachandran, Madhavaraju, Ramasamy, Lee, Rao, Chawngthu ve Velmurugan, 2016; Mondal, Wani ve Mondal, 2012; Madhavaraju, Hussain, Ugeswari, Nagarajan, Ramasamy ve Mahalakshmi, 2015a; Madhavaraju, Scott, Lee, Bincy, González-León, ve Ramasamy, 2015b; Madhavaraju, Loser, Lee, Lozano-Santacruz ve Pi-Puig, 2016). Göl ortamına yüksek miktarda tatlı su akışı, fosfat ve nitrat gibi suda çözülmüş besin maddelerinin göle terrijen tortullarla birlikte taşınmasına, gölde artan besin miktarıyla birlik çözülmüş oksijeninde artışına neden olur. Bu durum göldeki planktonik algal yaşamın artışına olanak sağlar. Daha sonraki süreçte ise göl seviyesinin yükselmesi, su sütunundaki çözülmüş oksijenin ve besinin planktonlar tarafından hızlı bir şekilde tüketimi, havzanın çökmesi ve sedimantasyon oranının artışıyla tabanda oluşan indirgen şartlarda da OM'nin korunması artar. Bütün bu süreçler palaeo-iklim koşullarından doğrudan etkilenmektedir (Jia ve diğ., 2013; Sun, Xie, Shi, Zhang, Lin, Shang, Wang, Li, Liu ve Chu, 2013). Petrol kaynak kayası olarak değerlendirilen kayalar genel olarak organik maddece (OM) zengin, kil içeriği çok yüksek olan kilitaşı veya şeyl türü kayalardır. Ilgın sahası bitümlü kilitaşı örneklerinde yapılan organik jeokimyasal çalışmalarda örneklerin çok yüksek organik madde içeriğine, %TOC ortalaması (ort:31,24), sahip olduğu belirlenmiştir (Tablo 1). Çünkü, OM'in tabana adsorp şeklinde yapışarak tabana hızlıca düşmesine yardımcı olur, uzun süre su yüzeyinde kalan OM hem oksijen tarafından hem de suda yaşayan diğer canlılar tarafından tüketilir. Öte yandan tabana düşen OM'nin üzeri yine kil mineralleri tarafından hızlıca sarılarak/örtülerek yine tabanı eşeleyeyen çöp/leşiyici organizmaların saldırısından korunurken diğer taraftan da oksijen ile temasını keserek korunmasını sağlar. Organik maddece zengin killi kayaların özellikle Mo, Cu, Ni, Zn, U gibi iz elementlerce çok zengin oldukları

bilinmektedir. Bu elementler çoğunlukla OM ile ilişkili olarak kilitli veya şeyl türü killi kayalarda ya organik yapıya absorp olarak ya da indirgen koşullarda sülfidik minereller şeklinde zenginleşirler. Dolayısıyla, bütün göstergeler İlgın havzasında etkili olmuş olan paleo-hidrotermal akışkan faaliyetleri, gölün yoğun bir şekilde buharlaşması tuzluluğun artmasının ana sebebinin havzada etkili olmuş olan kuru ve sıcak iklim nedeniyle olduğu anlaşılmaktadır. İlgın havzasında bitümlü killi kayaların organik madde bollukları onların depolandığı ortamın; hidrotermal akışkan faaliyetleri ile paleo-su hidrodinamiği çalışmalarına göre havzada kilitli çökelimine uygun zayıf bir paleo-hidrodinamik kuvvetin etkili olduğunu ve su derinliğinin de yine bitümlü kilitli çökelimine uygun olan, çok sakin ve durğan, enerjisi çok düşük yarı derin-derin tuzlu göl suyu koşullarında çökeldiğini göstermektedir. Ulaşılan bütün bu sonuçlarda havzada etkili olmuş olan çok sıcak ve kurak paleo-iklim koşullarıyla yakından ilişkilidir.

Teşekkür

Yazarlar, bu makaleyi eğitim-öğretimindeki 90. yıl münasebetiyle (1934-2024) Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne (Ankara Jeoloji) ithaf ederler. Bitümlü kilitli örneklerinde Majör ve Minör element analizleri Ankara Üniversitesi YEBİM laboratuvarında ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) model cihaz kullanılarak yapılmış olup kendilerine teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkısı

Ali SARI: çalışmayı planlamış, tasarlamış, veri toplanmasına yardımcı olmuş, verileri yorumlamış ve makalenin yazılmasına katkıda bulunmuştur. Kamal ISMAYILZADA: Çalışma hakkında verileri toplamış, analiz etmiş, yorumlamış ve makalenin yazımına katkıda bulunmuştur. Elif AKISKA: Sonuçları yorumlamış ve makalenin yazımına katkıda bulunmuştur. Fuat EROL: Sonuçları yorumlamış ve makalenin yazımına katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Abraham, K., Kautz, K., Tillmanns, E. & Walenta, K. (1978). Arsenbrackebuschite, $Pb_2(Fe,Zn)(OH, H_2O)[AsO_4]_2$, a new arsenate mineral. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Monatshefte*, 193-196.

Akgün, F., Kayseri, M.S. & Akkiraz, M.S. (2007). Palaeoclimatic evolution and vegetational changes during the Late Oligocene-Miocene period in Western and Central Anatolia (Turkey).

Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 253, 56-90.

Akgün, F., Akkiraz, M.S., Üçbaş, S.D., Bozcu, M., Sevinç Kapan-Yeşilyurt, S. & Bozcu, A. (2013). Vegetation and Climate Characteristics of the Oligocene in Northwest Turkey: Data from the Southwestern Part of the Thrace Basin, Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 22, 277-303.

Akkiraz, M.S. (2011). Vegetation and climate in the Miocene deposits of southern side of the Büyük Menderes Graben, Şahinali-2 core, SW Turkey. *Bulletin of Geosciences*, 86(4), 859-878.

Akkiraz, M.S., Akgün, F., Utescher, T., Bruch, A.A. & Mosbrugger, V. (2011). Precipitation gradients during the Miocene in Western and Central Turkey as quantified from pollen data. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 304(3-4), 276-290.

Akkiraz, M.S., Akgün, F., Utescher, T., Wilde, V., Bruch, A.A., Mosbrugger, V. & Üçbaş, S.D. (2012). Palaeoflora and Climate of Lignitebearing Lower-Middle Miocene Sediments in the Seyitömer and Tunçbilek Sub-basins, Kütahya Province, Northwest Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 213-235.

Boström, K. (1983). Genesis of ferromanganese deposits-diagnostic criteria for recent and old deposits. *Hydrothermal Processes at Seafloor Spreading Centers*, Springer, Berlin, pp 473-489.

Chen, H.M., Zheng, C.R., Tu, C. & Zhu, Y.G. (1999). Heavy metal pollution in soils in China: Status and countermeasures. *Ambio*, 28, 130-134.

Chu, C.L., Chen, Q.L., Zhang, B., Shi, Z., Jiang, H.J. & Yang, X. (2016). Influence on formation of Yuertusi Source Rock by hydrothermal activities at Dongergou section, Tarim Basin. *Acta Sedimentol Sin* 34(4):803-810 (in Chinese with English abstract).

Couch, E.L. 1971. Calculation of paleosalinities from boron and clay mineral data. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 55, 1829-1837. doi: <https://doi.org/10.1306/819A3DAC-16C5-11D7-8645000102C1865D>

Cullers, R.L. & Podkovyrov, V.N. (2000). Geochemistry of the Mesoproterozoic Lakhanda Shales in Southeastern Yakutia, Russia: Implications for Mineralogical and Provenance Control, and Recycling. *Precambrian Research*, 104, 77-93. doi: [https://doi.org/10.1016/S0301-9268\(00\)00090-5](https://doi.org/10.1016/S0301-9268(00)00090-5)

Dai, S., Bechtel, A., Eble, C.F., Flores, R.M., French, D., Graham, I.T., Hood, M.M., Hower, J.C., Korasidis V.A. &

- Moore, T.A. (2020). Recognition of peat depositional environments in coal: a review. *Int. J. Coal Geol.*, 219, 103383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2019.103383>
- Ding, T., Valkiers, S., Kipphardt, H., De Bievre, P., Taylor, P. D. P., Gonfiantini, R. & Krouse, R. (2001). Calibrated sulfur isotope abundance ratios of three IAEA sulfur isotope reference materials and V-CDT with a reassessment of the atomic weight of sulfur. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65(15), 2433-2437. doi: [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(01\)00611-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(01)00611-1)
- Fu, J., Li, S., Xu, L. & Niu, X. (2018). Paleo-sedimentary environmental restoration and its significance of Chang 7 Member of Triassic Yanchang Formation in Ordos Basin, NW China. *Petrol. Explor. Develop.*, 45(6): 998-1008. doi: [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(18\)30104-6](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(18)30104-6)
- Gallagher, T.M. & Sheldon, N.D. (2013). A new paleothermometer for forest paleosols and its implications for Cenozoic climate, *Geology*, 41, 647-650. doi: <https://doi.org/10.1130/G34074.1>
- Hu, X.F., Liu, Q.J., Liu, R., Sun, P.C., Hu, S.C., Meng, Q.T. & Liu, S.Y. (2012). Clay mineral and inorganic geochemical characteristics of Eocene Huadian Formation in Huadian basin and their paleoenvironment implications. *J China Coal Soc.* 37(3):416-23 (in Chinese).
- Dana, J.D., Klein, C. & Hurlbut, C.S. (1985). *Manual of Mineralogy*. Wiley. 596p. ISBN 047 182 1829. 978047 1821823.
- Hüseyinca, M.Y. ve Eren. Y. (2007). Ilgın (Konya) kuzeyinin stratigrafisi ve tektonik evrimi. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, c.23, s.1-2.
- Jia, J., Liu, Z., Bechtel, A., Strobl, S.A.I. & Sun, P. (2013). Tectonic and climate control of oil shale deposition in the Upper Cretaceous Qingshankou Formation (Songliao Basin, NE China). *International Journal of Earth Sciences*, 102, 1717-1734. doi: <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0903-7>
- Jin, Z., Li, F., Cao, J., Wang, S. & Yu, J. (2006). Geochemistry of Daihai Lake sediments, Inner Mongolia, north China: Implications for provenance, sedimentary sorting, and catchment weathering. *Geomorphology*, 80(3-4), 147-163. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.02.006>
- Jin, Z. & Zhang, E. (2002). Paleoclimate Implications of Rb/Sr Ratios from Lake Sediments. *Sci. Technol. Eng.* 2, 20-22.
- Karayiğit, A.I., Akgün, F., Gayer, R.A. & Temel, A. (1999). Quality, Palynology, And Paleoenvironmental Interpretation of the Ilgın Lignite, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 38, pp.219-236. doi: [https://doi.org/10.1016/S0166-5162\(98\)00015-9](https://doi.org/10.1016/S0166-5162(98)00015-9)
- Kayseri, M.S. ve Akgün, F. (2010). Türkiye'de Geç Burdigaliyen-Langiyen Periyodu ve Avrupa ile Paleortamsal ve Paleoklimsel Karşılaştırma: Muğla-Milas (Kultak) Geç Burdigaliyen-Langiyen Palinoflorası ve Paleoklimsel Özellikleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 53, 1.
- Kayseri-Özer, M.S. (2014). Spatial distribution of climatic conditions from the Middle Eocene to Late Miocene based on palynoflora in Central, Eastern and Western Anatolia. *Geodinamica Acta*, 28, 1-36.
- Lerman, A. (1978). *Lakes: Chemistry, Geology, Physics*. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 363p.
- Lerman, A., Imboden, D.M., Gat, J. & Chou, L. (1995). *Physics and Chemistry of Lakes*. Springer-Verlag, 761 Physics and chemistry of lakes. Springer-Verlag. Berlin.
- Li, D., Li, R., Zhu, Z., Wu, X., Cheng, J., Liu, F. & Zhao, B. (2017). Origin of organic matter and paleo-sedimentary environment reconstruction of the Triassic oil shale in Tongchuan City, southern Ordos Basin (China). *Fuel*, 208, 223-235. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.07.008>
- Li, M., Hinnov, L.A., Huang, C. & Ogg, J.G. (2018). Sedimentary Noise and Sea Levels Linked to Land-Ocean Water Exchange and Obliquity Forcing. *Nat. Commun.*, 9, 1004 <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03454-y>
- Liang, W.J., Xiao, C.T., Xiao, K. & Lin, W. (2015). The relationship of Late Jurassic paleoenvironment and paleoclimate with geochemical elements in Amdo Country of northern Tibet. *Geol China* 42(4):1079-1091 (in Chinese with English abstract).
- Madhavaraju, J., Hussain, S.M., Ugeswari, J., Nagarajan, R., Ramasamy, S. & Mahalakshmi, S. (2015a). Paleo-redox conditions of the Albian-Danian carbonate rocks of the Cauvery Basin, South India: Implications for Chemostratigraphy, in Ramkumar, M. (ed.), *Chemostratigraphy: Concepts, Techniques and Applications: Elsevier Special Volume*, 247-271.
- Madhavaraju, J., Scott, R.W., Lee, Y.I., Bincy, K.S., González-León, C.M. & Ramasamy, S. (2015b). Facies, biostratigraphy, diagenesis, and depositional environments of Lower Cretaceous strata, Sierra San

- José section, Sonora (Mexico): Carnets de Géologie (Notebooks on Geology), 15, 103-122.
- Madhavaraju, J., Loser, H., Lee, Y.I., Lozano-Santacruz, R. & Pi-Puig, T. (2016). Geochemistry of Lower Cretaceous limestones of the Alisitos Formation, Baja California, Mexico: Implications for REE source and paleo-redox conditions: *Journal of South American Earth Sciences*, 66, 149-165. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.11.013>
- Meyer, I., Davies, G. R. & Stuut, J.B.W. (2011). Grain size control on Sr-Nd isotope provenance studies and impact on paleoclimate reconstructions: an example from deep-sea sediments offshore NW Africa. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 12, 14. doi: <https://doi.org/10.1029/2010GC003355>
- Mondal, M.E.A., Wani, H. & Mondal, B. (2012). Geochemical signature of provenance, tectonics and chemical weathering in the Quaternary flood plain sediments of the Hindon River, Gangetic plain, India: *Tectonophysics*, 566, 87-94. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.07.001>
- Mosbrugger, V., Utescher, T. & Dilcher, D.L. (2005). Cenozoic continental climatic evolution of Central Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)* 102 (42).
- Nesse, W.D. (2000). *Introduction to Mineralogy*, Oxford University Press, 442p.
- Poulton, S.W. & Raiswell, R. (2002). The low-temperature geochemical cycle of iron: from continental fluxes to marine sediment deposition. *American Journal of Science*, 302(9), 774-805. doi: <https://doi.org/10.2475/ajs.302.9.774>
- Ramachandran, A., Madhavaraju, J., Ramasamy, S., Lee, Y.I., Rao, S., Chawngthu, D.L. & Velmurugan, K. (2016). Geochemistry of the Proterozoic clastic rocks of Kerur Formation of Kaladgi-Badami Basin, Northern Karnataka, South India: Implications for paleoweathering and provenance. *Turkish Journal of Earth Sciences* 25, 126-144. doi: <https://doi.org/10.3906/yer-1503-4>
- Reheis, M.C. (1990). Influence of climate and eolian dust on the major-element chemistry and clay mineralogy of soils in the northern Bighorn Basin, U.S.A. *Catena* 17 (3), 219-248. [https://doi.org/10.1016/0341-8162\(90\)90018-9](https://doi.org/10.1016/0341-8162(90)90018-9)
- Sarı, A., İsmayılzade, K., Pehlivanlı, B.Y. & Erol, F. (2023). The Relationship between Depositional Processes and Biological Productivity of Bituminous Claystones: İlgın (Konya) Field. *General Topics in Geology and Earth Sciences* 1. Chapter II. p.23-40.
- Sarı, A., İsmayılzade, K., Akıska, E. & Erol, F. (2024a). İlgın (Konya) bitümlü kıltaşı çökeli mi havzasında paleo-tuzluluk incelemeleri: Diyatome türü alglerle tuzluluk arasındaki ilişki. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi* (baskıda)
- Sarı, A., İsmayılzade, K., Akıska, S. & Erol, F. (2024b). İlgın (Konya) Havzası Miyosen Yaşlı Bitümlü Kıltaşlarındaki Redoksa Duyarlı Element Davranışları ve Redoks Koşulları Arasındaki İlişki. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* (baskıda)
- Sun, Q., Xie, M., Shi, L., Zhang, Z., Lin, Y., Shang, W., Wang, K., Li, W., Liu, J. & Chu, G. (2013). Alkanes, compound-specific carbon isotope measures and climate variation during the last millennium from varved sediments of Lake Xiaolongwan, northeast China. *J Paleolimnol* 50, 331-344. <https://doi.org/10.1007/s10933-013-9728-4>
- Strömberg, C.A.E., Werdelin, L., Friis, E.M. & Saraç, G. (2007). The spread of grass-dominated habitats in Turkey and surrounding areas during the Cenozoic: phytolith evidence. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 250, 18-49.
- Teng, G.E., Hui, L.W., Xu, Y.C. & Chen, J.F. (2005). Correlative study on parameters of inorganic geochemistry and hydrocarbon source rocks formative environment. *Adv Earth Sci* 20(2):193-200. doi: <https://doi.org/10.11867/j.issn.1001-8166.2005.02.0193>
- Wang, Z.W., Fu, X.G., Feng, X.L., Song, C.Y., Wang, D., Che, W.B. & Zeng, S.Q. (2017). Geochemical features of the black shales from the Wuyu Basin, southern Tibet: implications for palaeoenvironment and palaeoclimate. *Geol. J.* 52, 282-297. doi: <https://doi.org/10.1002/gj.2756>
- Wignall, P.B. & Twitchett, R.J. (1996). Oceanic anoxia and the end Permian mass extinction. *Science*, 272, 1155-1158. doi: <https://doi.org/10.1126/science.272.5265.1155>
- Wu, Z.P. & Zhou, Y.Q. (2000). Using the characteristic elements from meteoritic dust in strata to calculate sedimentation rate. *Acta Sedimentol Sin* 18(3):395-399 (in Chinese with English abstract).
- Xu, Q., Wang, Y., Ma, L., Meng, T., Bi, J. & Jiang, C. (2021). The character and origin of sequence architecture in the arid climate zone: A case of the Lower Submember of the Fourth Member of Shahejie Formation in the Bonan Sub-Sag. Published under licence by IOP Publishing Ltd 6th International

- Conference on Energy Science and Applied Technology IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 804. 022033 IOP Publishing.
- Xu, C., Shan, X.L., Lin, H.M., Hao, G.L., Liu, P., Wang, X.D., Shen, M.R., Rexiti, Y., Li, K. & Li, Z.S. (2022). The formation of early Eocene organic-rich mudstone in the western Pearl River Mouth Basin, South China: Insight from paleoclimate and hydrothermal activity. *Int. J. Coal Geol.* 253, 103957. doi: <https://doi.org/10.1016/j.coal.2022.103957>
- Yan, K., Wang, C., Mischke, S., Wang, J., Shen, L., Yu, X. & Meng, L. (2021). Major and trace-element geochemistry of Late Cretaceous clastic rocks in the Jitai Basin, southeast China. *Sci. Rep.*, 11, 13846. doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93125-8>
- Yang, J., Cui, Z., Yi, C., Zhang, W. & Liu, K. (2004). Glacial Lacustrine Sediment's Response to Climate Change since Holocene in Diancang Mountain, *Acta Geographica Sinica*, 4, 525-533 (in Chinese with English abstract).
- Zachos, J., Pagani, M., Sloan, L., Thomas, E. & Billups, K. (2001). Trends, rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present. *Science* 292, 686-693.
- Zhang, X.H. & Zhao, Z.Y. (2002). Definition of Milankovitch cycles for Yangchang formation of the upper triassic in Ordos Basin. *Oil Gas Geol* 23(4):372-375 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, C.L., Gao, A.L., Liu, Z., Huang, J., Yang, Y.J. & Zhang, Y. (2011). Study of character on sedimentary water and Palaeoclimate for Chang oil layer in Ordos Basin. *Nat Gas Geosci* 22(4):582-587 (in Chinese with English abstract).
- Zhang, K., Liu, R., Liu, Z.J. & Li, L. (2021). Geochemical characteristics and geological significance of humid climate events in the Middle-Late Triassic (Ladinian-Carnian) of the Ordos Basin, central China. *Mar. Pet. Geol.*, 131, 105179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.105179>
- Zhao, B.S., Li, R.X., Wang, X.Z., Wu, X.Y., Wang, N., Qin, X.L., Cheng, J.H. & Li, J.J. (2016). Sedimentary environment and preservation conditions of organic matter analysis of Shanxi formation mud shale in Yanchang exproation area, Ordos Basin. *Geol Sci Technol Inf* 35(6):103-111 (in Chinese with English abstract).
- Zhong, D.K., Jiang, Z.K., Guo, Q. & Sun, H.T. (2015). A review about research history, situation and prospects of hydrothermal sedimentation. *J Palaeogeogr* 17(3):285-296 (in Chinese with English abstract).

ALTI ÇUBUKLU BİR ESNEK MEKANİZMA KULLANILARAK ARAÇ YÖNLENDİRME SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Çağıl Merve TANIK^{1*}, Raşit KARAKUŞ²

^{1*} ASELSAN AŞ., Ankara, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-4616-0934>

² FNSS Savunma Sistemleri AŞ., Ankara, ORCID No : <https://orcid.org/0000-0003-4328-7665>

Anahtar Kelimeler	Öz
Esnek Mekanizmalar Direksiyon Sistemi Eklemeli İmalat	<i>Bu çalışmada, altı çubuklu esnek bir mekanizma kullanılarak geliştirilen araç yönlendirme sistemi incelenmektedir. Tasarım, kısa boylu esnek mafsallardan oluşmaktadır ve tek parça olarak tasarlanmıştır. Geleneksel sistemlerle karşılaştırıldığında parça sayısında ciddi bir azalma gözlemlenmiştir. Mekanizma düzlemsel olarak tasarlanmış olup, Ackerman geometrisini sağlamak için uygun bir modeldir. Çalışmada, mekanizma öncelikle rijit mekanizma sentezi için boyutlandırılmış ve daha sonra esnek mekanizma olarak modellenmiştir. Dayanım analizi yapıldıktan sonra sonuçlar sonlu eleman analizi ile doğrulanmıştır. Prototip üretilmiş ve teorik sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, kinematik analizler yapılmış ve hareket kabiliyetleri doğrulanmıştır. Yapılan çalışma, düşük maliyetli üretim gerektiren uygulamalarda tercih edilebilecek bir araç yönlendirme sistemi için uygun bir prototip model sunmaktadır.</i>

DEVELOPMENT OF A SIX BAR COMPLIANT STEERING MECHANISM

Keywords	Abstract
Compliant Mechanisms Steering System Additive Manufacturing	<i>In this study, a steering system developed using a six-bar flexible mechanism is examined. The design consists of short-length flexible links and is designed as a single piece. Significant reduction in the number of parts compared to traditional systems is observed. The mechanism is designed to operate in a planar manner and is suitable for providing Ackerman geometry. In the study, the mechanism is first dimensioned for rigid mechanism synthesis and then modeled as a flexible mechanism. After the strength analysis, the results are validated by finite element analysis. A prototype is produced and theoretical results are compared with experimental data. Additionally, kinematic analyses are performed, and motion capabilities are verified. The study presents a suitable prototype model for a vehicle steering system that can be preferred in applications requiring low-cost production.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 04.03.2024

Submission Date : 04.03.2024

Kabul Tarihi : 15.08.2024

Accepted Date : 15.08.2024

* Sorumlu yazar: cmervacan@gmail.com

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1446931>

1. Giriş

Tekerlekli kara taşıtlarında yönlendirme işlemi farklı metotlarla yapılabilir. En yaygın yönlendirme yöntemi teker açılarının değiştirilmesi ile araç yönlendirmesinin sağlanmasıdır. Yönlendirme tekerlerinin açılarda kontrolü bir direksiyon sistemi vasıtasıyla yapılır. Bu sebeple direksiyon sistemi, araç dinamiğinde büyük bir öneme sahiptir (Gillespie, 1992).

Direksiyon mekanizması, direksiyon simidinin kontrolü ile tekerlerin dönmeye izin verdiği için sistemdeki ana bileşendir ve tasarımı önem arz etmektedir (Jazar, 2014).

Yönlendirme mekanizmasının sentezi ile ilgili birçok çalışma yayınlanmıştır. Bunlardan bir tanesi (Yao ve Angeles, 2000) tarafından yapılan, dört çubuk mekanizmasını sentezlemek için kullanılan eleme sürecine dayalı yöntemdir. Bu yöntemde yapısal hatanın ortalama karesini en aza indirmek hedeflenmiştir. Yapısal hatanın ortalama karesinin minimize edilmesine dayanan bir başka çalışmada (Simionescu ve Beale, 2002)'de gösterilmiştir.

(Becker, Bian ve Song, 2003) ve (Bian, Song ve Walter, 2004) yaptıkları çalışmalarda çok bağlantılı yönlendirme mekanizması ve McPherson süspansiyon optimizasyonu ile ilgili karmaşık bir problem sunmuştur. (Rahmani-



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Hanzaki, Rao, ve Saha, 2009) kremayer ve pinyon mekanizması optimizasyonu problemini incelemiştir. Bir başka çalışmada da (Panchanathan ve Huang, 2023) esnek bir yuvarlanma mafsalinın desteği ile kramayer ve pinyon mekanizması tasarımı sunulmuştur.

Farklı bir yaklaşım da (Collard, Duysinx ve Fisetete, 2010) tarafından yapılmıştır. Önerilen yöntemde, optimum tasarımı bulmak için gerilme enerjisini minimize eden bir genişletilebilir bağlantı mekanizması modeli kullanılmıştır.

(Shariati ve Norouzi, 2011) Çalışmalarında dört çubuk yönlendirme mekanizmasının optimizasyonu için bir yöntem önermiştir. Bu optimizasyon yöntemi gradyan tabanlıdır ve sonuçları sezgisel yöntemlere göre daha güvenilirdir. Bir başka çalışmada ise kinematik modelleme için doğal koordinatların kullanıldığı Jacobi metodunun sayısal hesaplanmasına dayalı genel bir optimizasyon yöntemi önerilmektedir (De-Juan, Sancibrian ve Viadero, 2012). Ayrıca literatürde mekanizma kinematikini modelleyen denklemleri elde etmek için doğal koordinatların kullanıldığı, sürekli bir genetik algoritma kullanan bir küresel optimizasyon yöntemi de çalışılmıştır (Romero, 2014).

Son yıllarda yapılan çalışmalar yapay zeka ve otonom sürüş teknolojileri kullanılarak direksiyon mekanizmalarının daha güvenli, hassas ve kullanıcı dostu hale getirilmesine odaklanmaktadır. (Reda, Bouzid ve Vásárhelyi, 2020) Çalışmalarında otonom araçların direksiyon sistemleri için Model Öngörülü Kontrol kullanarak sistemin değişkenleri arasındaki etkileşimlerini dikkate alarak daha güvenli ve etkin bir kontrol sağlamayı amaçlamıştır. Performans, kaynak kullanımı, maliyet ve enerji verimliliği açısından elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Başka bir çalışmada (Park, Lee ve Han, 2015) otonom araçların yol takibi performansını ve stabilitesini artırmak için geliştirilmiş bir direksiyon kontrol sistemi ortaya konulmuştur.

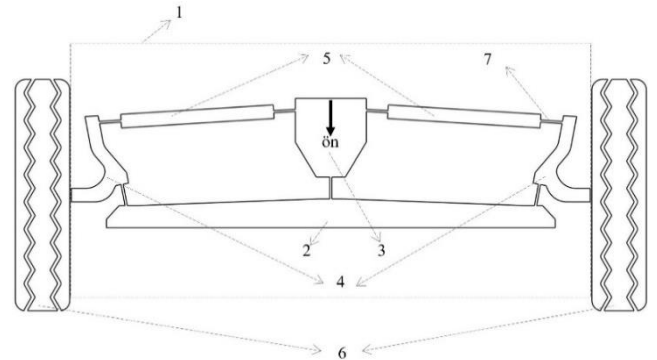
Esnek mekanizmalar hareketlerini bir kısmen veya tamamen esneyen elemanlar sayesinde kazanırlar (Howell, 2002). Bu tip mekanizmalar düşük maliyet, hafiflik, az bakım gereksinimi gibi önemli avantajlara sahiptirler ve bu avantajları sayesinde geniş kullanım alanları mevcuttur (Fowler, Howell ve Magleby, 2011).

Esnek mekanizmalar, tamamen esneyen ve kısmen esneyen mekanizmalar olarak sınıflandırılabilirler (Lobontiu, 2002). Esnek mekanizmaların tasarımı için literatürde kullanılan çeşitli yöntemler vardır (Lan, 2008) (Cao, Dolovich ve Zhang, 2013). Esnek mekanizmaların analizi ve tasarımında sahte-rijit-cisim metodu kullanılır. Bu metotta esneyen kısımlar burulma yayına sahip mafsallar olarak modellenir (Lobontiu, 2002), (Howell, 2002). Bu sayede, esnek mekanizmaların

analiz ve tasarım süreci iyi bilinen rijit eşleniklerinin kinematik analiz metotlarına kullanılarak basitleştirilir.

Kısmen esneyen Watt tipi altı çubuk mekanizmasının kinematik ve kinetik analizleri yapılmıştır (Uyulan ve İpek, 2021). Bu çalışmada esneyen eleman olarak yay çeliği kullanılmıştır ve mekanizma tamamen esnek değildir. Üretiminde, ahşaplar ve yay çelikleri birbirine bağlantı elemanları ile bağlanmıştır. Literatürde kısa boylu esnek mafsalları kullanılarak tasarlanan araç yönlendirme mekanizmasına rastlanmamıştır.

Bu çalışmada önerilen altı çubuklu esnek bir mekanizma kullanılarak geliştirilen araç yönlendirme sistemi Şekil 1'de yer almaktadır. Tasarım, kısa boylu esnek mafsallardan oluşmaktadır ve tek parça olarak tasarlanmıştır. Bu tasarım sayesinde üretim basamakları azaltılmış ve maliyet düşürülmüştür. Geleneksel araç yönlendirme sistemleri ile karşılaştırıldığında parça sayısında ciddi bir azalma gözlemlenmektedir. Önerilen tasarımın detaylı üstten görünümü Şekil 1'de sunulmuştur. Mekanizmanın üçüncü boyutu sayfa derinliğine doğru olup, düzlemsel çalışmak üzere tasarlanmıştır.



Şekil 1. 6-Çubuklu Esnek Direksiyon Mekanizması

Şekil 1 ile gösterilen yapıdaki numaralanmış elemanlar sırasıyla aşağıdaki gibidir:

- 1) 6-çubuklu esnek direksiyon mekanizması
- 2) Direksiyon mekanizması sabit uzvu
- 3) Direksiyon mekanizması giriş uzvu
- 4) Direksiyon mekanizması yönlendirme uzvu
- 5) Direksiyon mekanizması hareket aktarma uzvu
- 6) Yönlendirme tekerleri

Çalışmada, önerilen mekanizma için öncelikle rijit mekanizma sentezi için mevcut olan teoriler kullanılarak boyutlandırma yapılmıştır. Elde edilen mekanizma Rijit-cisim değiştirme metodu-Pseudo-rigid body model (PRBM) ile esnek mekanizma olarak şekillendirilmiştir. Tasarımın dayanımı analitik yöntemlerle hesaplandıktan sonra elde edilen sonuçlar sonlu eleman analizi ile doğrulanmıştır. Son olarak eklemeli imalat yöntemi ile

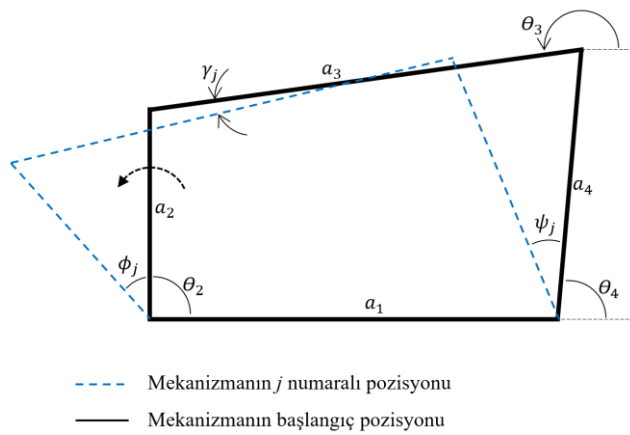
prototip üretilmiş ve elde edilen teorik yaklaşımlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

2.1. Kinematik Analiz

Mekanizmanın kinematik sentezi için, önceden belirlenmiş 3 pozisyon için analiz yapılmıştır. Bu analiz için öncelikle mekanizmanın istenilen 3 pozisyonu belirlenmiştir. Ayrıca, ortak bir giriş uzvu söz konusu olduğu için mekanizmanın sağ ve sol kısımları giriş uzvunun aynı açısal değişimi baz alınarak ile matematiksel olarak birbiriyle ilişkilendirilmiştir.



Şekil 2. Önerilen Mekanizmanın Tek Tarafının Pozisyon Değişimi

Şekil 2'de gösterilen mekanizma için çevrim denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\vec{Z}_2 + \vec{Z}_3 - \vec{Z}_4 - \vec{Z}_1 = 0 \quad (1)$$

$$\vec{Z}_2 e^{i\phi_j} + \vec{Z}_3 e^{i\psi_j} - \vec{Z}_4 e^{i\psi_j} - \vec{Z}_1 = 0 \quad (2)$$

Burada \vec{Z}_j , a_j uzvunun vektörel gösterimi olup; 1 ve 2 numaralı denklemlerde mekanizmanın uzuvları, θ_2 açısının bulunduğu mafsal referans olmak üzere, vektörel olarak toplanmıştır.

Bu iki denklem birbirinden çıkartılarak birleştirildiğinde aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\vec{Z}_2 (e^{i\phi_j} - 1) + \vec{Z}_3 (e^{i\psi_j} - 1) - \vec{Z}_4 (e^{i\psi_j} - 1) = 0 \quad (3)$$

Elde edilen denklem mekanizmanın tayin edilen üç pozisyonu için çözülmek üzere aşağıdaki gibi bir matris haline getirilebilir:

$$\begin{bmatrix} e^{i\psi_2} - 1 & e^{i\psi_3} - 1 \\ e^{i\psi_3} - 1 & e^{i\psi_3} - 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \vec{Z}_3 \\ \vec{Z}_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\vec{Z}_2 (e^{i\phi_2} - 1) \\ -\vec{Z}_2 (e^{i\phi_3} - 1) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Elde edilen matrisin çözümü için ϕ_j ve ψ_j tasarım parametresi olarak kullanılmıştır. Bu parametreler

mekanizma çıkış uzuvlarının, tek bir giriş uzvu açısal pozisyon değişikliğine göre farklı olmasını sağlamak üzere belirlenmelidir. Diğer taraftan $\vec{Z}_1, \vec{Z}_2, \gamma_j$ en iyileştirme için değişim parametresi olarak kullanılırken, \vec{Z}_4, \vec{Z}_3 denklem çözümü neticesinde ortaya çıkmaktadır.

Aracın gidiş istikametine göre, çıkış uzvu açısal değişiminin (ψ_j) araç dönüş rotasının iç tarafında fazla, dış tarafında az olması istenmektedir. Bu sebeple dönüşün dış tarafında elde edilen azami açının giriş uzvu dönüş açısı ϕ_j ile aynı olması, dönüşün iç tarafında ise giriş uzvu dönüş açısından fazla olması temel hedef olarak belirlenmiştir. Bu hedef neticesinde parametreler aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

$$\phi_1 = 0^\circ, \psi_1 = 0^\circ$$

$$\phi_2 = 15^\circ, \psi_2 = 18^\circ$$

$$\phi_3 = 25^\circ, \psi_3 = 32^\circ$$

Benzer şekilde mekanizmanın sol tarafı da üç pozisyon için optimize edilir. Ancak giriş uzvunun her pozisyonu için mekanizmanın sağ ve sol tarafının ortak konum değiştirdiği unutulmamalıdır. Mekanizmanın sağ tarafı için aşağıdaki temel isterler kriter olarak belirlenmiştir.

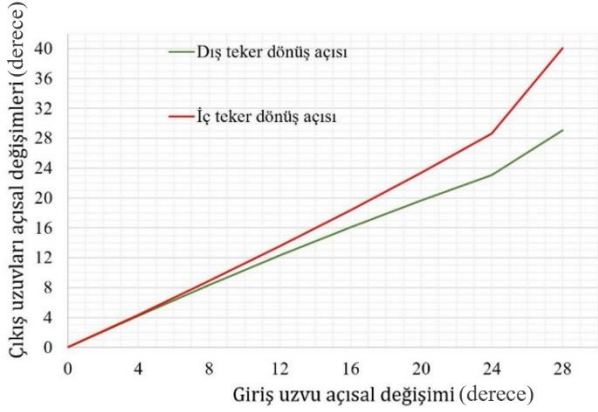
$$\phi_1 = 0^\circ, \psi_1 = 0^\circ$$

$$\phi_2 = 15^\circ, \psi_2 = 16^\circ$$

$$\phi_3 = 25^\circ, \psi_3 = 26^\circ$$

Belirlenen hedef pozisyon değişimleri için kabul edilebilir hata oranı $\pm\%5$ derece olarak kabul edilmiştir.

Bilgisayar destekli bir hesaplama programı kullanılarak, $\vec{Z}_1, \vec{Z}_2, \gamma_j$ farklı parametreleri için en iyileştirme çalışması yapılarak, hedeflenen açısal değişimler elde edilmeye çalışılmıştır. Bu optimizasyon hesaplaması parametrelerin çokluğu nedeniyle oldukça karmaşık hale gelebilir. Bu nedenle, değişkenler için sınır koşulları belirlenmesi faydalı olacaktır. Parametrelerden \vec{Z}_1 , mekanizmanın en temel boyutlandırma ölçüsü olup, istenilen mekanizma boyutuna göre bir değer belirlenip, bu değer değiştirilmeden bırakılabilir. Benzer şekilde \vec{Z}_2 parametresi mekanizmanın dış boyutları ile doğrudan ilgili olup, dar bir aralıkta tutulabilir. Oransal olarak çalışmada a_2 boyu, a_1 boyunun %30-40'ı arasında olmak üzere en iyileştirme çalışmasına dahil edilmiştir. Bu oran, daha önceki çalışmalardan elde edilen deneyimlerle belirlenmiş olup, optimizasyon hesaplaması başarısız olduğu durumda yeniden gözden geçirmeye açıktır. a_2 uzvunun boyu, mekanizmanın uygulanabilirliği açısından önemli olup, diğer uzuvların boylarının da uygulanabilirlik açısından makul seviyelerde olması gerekmektedir.



Şekil 3. Giriş Uzvu Bağılı Çıkış Uzunlarının Açısal Değişimleri

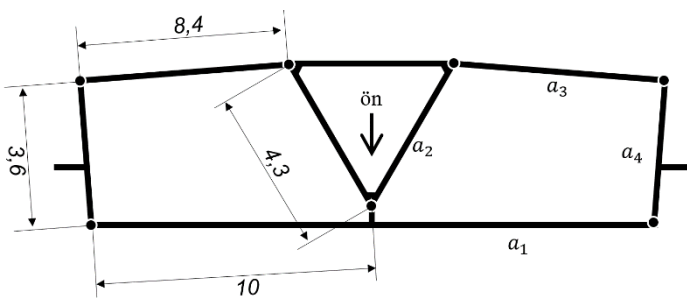
Yapılan en iyileştirme neticesinde mekanizma aşağıdaki ölçülerle boyutlandırılmış olup, açısal pozisyonlar da hedef kriterleri çerçevesinde sağlanmıştır. Mekanizmanın sağ ve sol tarafları orta eksene göre simetriklerdir.

Sonuçlar Tablo 1'de gösterilmiş olup, iç ve dış tekerlerin birbirlerine göre manevra esnasında aldıkları açısal farklılıklar Şekil 3 'te verilen grafikte görselleştirilmiştir.

Tablo 1. Önerilen Mekanizmanın Giriş Uzununun Açısal Değişimine Bağlı Çıkış Değerleri

Giriş uzvu açısal değ. (°)	ϕ_j	0	4	8	12	16	20	25	28
Dış teker açı değ. (°)	ψ_j	0	4,2	8,4	12,3	16,1	19,7	23,1	29,1
İç teker açı değ. (°)	γ_j	0	4,4	8,9	13,6	18,4	23,4	28,6	40,1

Kutzbach kriterine göre (Shigley ve Uicker, 1980) düzlemsel bir mekanizmanın serbestlik derecesi $N = 3(l - 1) - 2j_1 - 2j_2$ formülü ile hesaplanır. Bu denklemdeki l link sayısını, j_1 tek serbestlik dereceli mafsalları, j_2 ise iki serbestlik dereceli mafsalları ifade etmektedir. Bu hesaba göre önerilen mekanizmanın (Şekil 4) serbestlik derecesi 1 olarak tespit edilebilir.



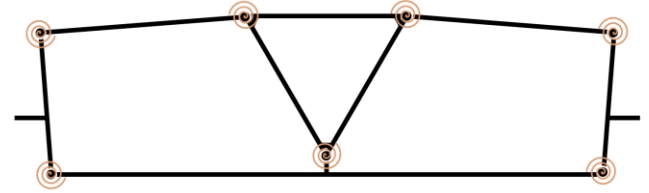
Şekil 4. En İyileştirme Sonucu Elde Edilen Mekanizma Boyutları (Birim Ölçü)

Elde edilen mekanizma boyutları 10 birim boydaki sabit uzunluk için oluşturulmuştur. Mekanizma boyutları oransal olarak değiştirilebilir ve farklı amaçlar için kullanılabilir.

2.2 Sahte-Rijit Yapı Modeli

Sahte-Rijit Yapı Modeli, esnek mekanizmalarda oluşan yüksek deplasmanlar neticesinde zaruri olan analizlerin uzun ve karmaşık olmasından dolayı geliştirilmiş bir model olup, %0,5 hata payı ile uzuvların pozisyonlarını bulmakta kullanılmaktadır (Howell, 2002).

Rijit mekanizma için yapılan kinematik sentez neticesinde elde edilen mekanizmanın sahte-rijit yapı modeli Şekil 5'te gösterilmiştir. Sahte-rijit yapı kullanılarak mekanizmanın esnek dirseklerinin boyutlandırılması ve mekanizmanın giriş-çıkış tork ilişkisi analiz edilecektir.

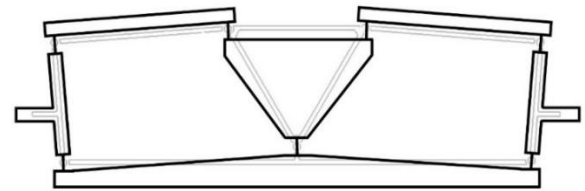


Şekil 5. Sahte-Rijit Yapı Modeli

Sahte rijit yapı modelinde kısa boylu esnek dirsekler, rijit mekanizma mafsalları üzerinde burulma yayları eklenerek ifade edilmektedir (Şekil 5). Mekanizma üzerine eklenen burulma yayları esnek dirseklerin elastik şekil değiştirmesini modellemektedir. Yayların yay sabitleri, esnek dirseklerin malzeme tipi, kesit alanı ve geometrisine bağlı olarak değişmektedir.

Oluşturulan model ile üretilmek istenen esnek modelin tasarımını yapmak mümkündür, rijit yapı üzerine bindirilmiş esnek mekanizma modeli Şekil 6 ile gösterilmiştir. Esnek mekanizma modelini oluştururken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, kullanılan kısa boylu esnek dirseklerin orta noktalarının rijit mekanizmada kullanılan mafsallar ile tam olarak çakışmasıdır.

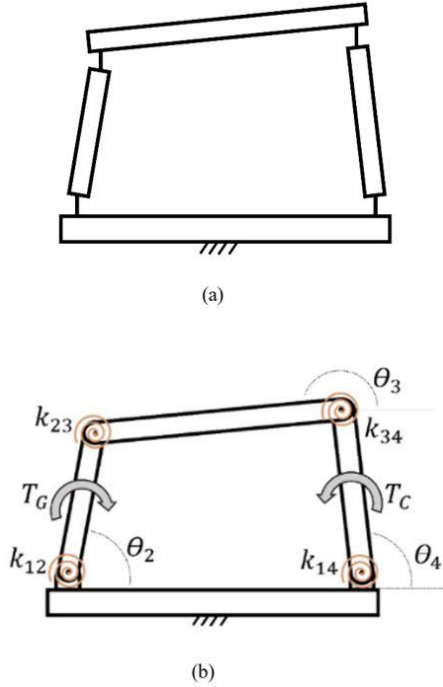
Genellikle esnek mafsalların boyu, rijit uzuvların %10 uzunluğunda olarak belirlenir (Howell, 2002).



Şekil 6. Rijit Mekanizma ve Muadil Esnek Mekanizma Modeli

2.3 Kuvvet Analizi

Esnek mekanizm tasarımı yaparken, önemli adımlardan birisi de kuvvet analizinin yapılmasıdır. Şekil 7' de bir dört-çubuk mekanizmasının esnek (a) ve sahte rijit yapı modeli (b) gösterilmiştir.



Şekil 7. Esnek 4 Çubuk Mekanizması (a) ve Sahte Rijit Yapı Modeli (b)

Kuvvet analizi yaparken, sahte rijit modeli oluşturan elamanlar üzerine temsili burulma yayları eklenmiş olup, mekanizmanın maruz kalacağı çıkış direnci ve buna karşılık olarak tüm burulma yayları kaynaklı torqlar ve direnç torkunu karşılayacak giriş torku eklenmiştir. Unutulmaması gereken önemli bir nokta, burulma yaylarının her zaman bir direnç torku uygulamak zorunda olmadığıdır. Uygun bir tasarımda, esnek dirseklerin elastik şekil değişimi ile depolanan enerjinin giriş torkunu destekler yönde kullanılabilir olmasıdır.

Şekil 7'de gösterilen sahte rijit yapı modelinde, esnek dirseklerden kaynaklı torqlar aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$T_{12} = k_{12}(\theta_2 - c_{12}) \quad (5)$$

$$T_{23} = k_{23}[(\theta_3 - c_{13}) - (\theta_2 - c_{12})] = k_{23}(\theta_3 - \theta_2 - c_{23}) \quad (6)$$

$$T_{34} = k_{34}[(\theta_4 - c_{14}) - (\theta_3 - c_{13})] = k_{34}(\theta_4 - \theta_3 - c_{34}) \quad (7)$$

$$T_{14} = k_{14}(\theta_4 - c_{14}) \quad (8)$$

$$k_{ij} = EI/l \quad (9)$$

Burada k_{ij} ilgili esnek dirseğin yay katsayısını ifade ederken, E malzemenin elastik modülünü, I atalet momentini, l esnek dirsek boyunu, c_{ij} ise çubukların başlangıç durumunda, üzerine dışarıdan kuvvet etkimediği konum açılarını ifade etmektedir.

Şekil 8 ile gösterilen serbest cisim diyagramları kullanılarak, statik denge denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$T_G = T_{12} - T_{23} - a_2 F \sin(\theta_2 - \beta) \quad (10)$$

$$T_{34} - T_{23} - a_3 F \sin(\theta_3 - \beta) = 0 \quad (11)$$

$$T_C - T_{14} - T_{34} - a_4 F \sin(\theta_4 - \beta) = 0 \quad (12)$$

Trigonometrik eşitliklerden faydalanarak 11 ve 12 numaralı denklemler birleştirildiğinde kuvvet açısı β aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\beta = \tan^{-1} \left\{ \frac{M_1 \sin(\theta_3) - M_2 \sin(\theta_4)}{M_1 \cos(\theta_3) - M_2 \cos(\theta_4)} \right\} \quad (13)$$

Burada M_1 ve M_2 şu şekilde ifade edilmektedir:

$$M_1 = a_4(T_{34} - T_{23})$$

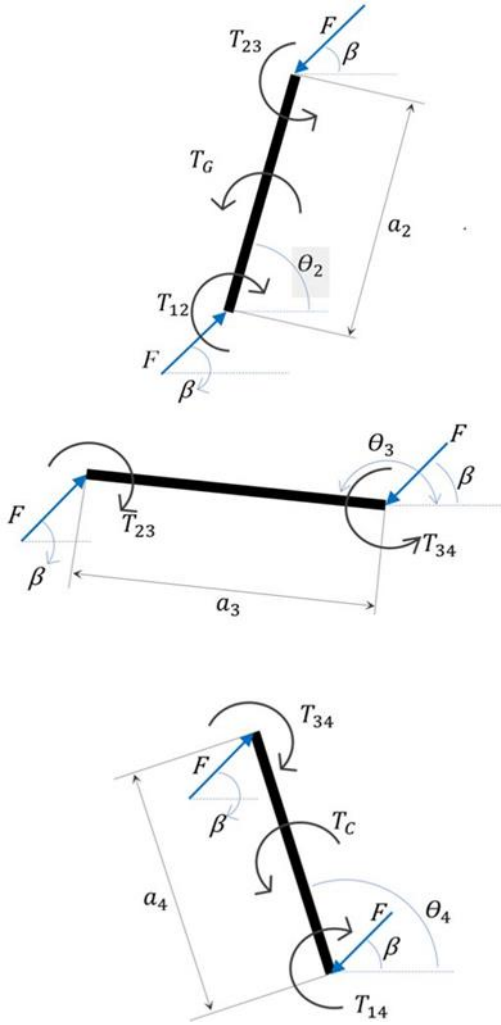
$$M_2 = a_3(T_C - T_{34} - T_{14})$$

Elde edilen β değeri Denklem 12 içinde kullanıldığında, mafsallara etki eden kuvvet aşağıdaki gibi elde edilebilmektedir.

$$F = \frac{T_C - (T_{34} + T_{14})}{a_4 \sin(\theta_4 - \beta)} \quad (14)$$

Kuvvet açısı β ve mafsal kuvvetinin büyüklüğü tespit edildiğine göre, bu veriler Denklem 10 içine yerleştirilerek, mekanizma giriş torku T_G tespit edilebilir.

Sonuç olarak mekanizmanın giriş çubuğunun pozisyonunu istenilen değere getirmek için gerekli giriş torku hesaplanabilir. Ayrıca elde edilen kuvvet, esnek dirseklerde oluşan gerilmelerin hesaplanmasında kullanılabilir. Ancak bu çıkarımların, 6-çubuklu esnek direksiyon mekanizmasının sadece tek tarafını ifade ettiği unutulmamalıdır. Mekanizmayı istenilen pozisyona getirmek için gerekli giriş torkunun hesaplaması yapılırken, aynı hesabın mekanizmanın diğer tarafı için de yapılması, elde edilen toplam değerlerin giriş torku olarak kullanılmalıdır.



Şekil 8. 4-Çubuk Mekanizması Serbest Cisim Diyagramları

3. Mekanizma Gerilim Hesaplamaları

Makale kapsamında tasarlanan 6-çubuklu esnek direksiyon mekanizmasının stres analizi yapılırken, kısa boylu esnek dirseklerin maruz kaldığı açısal şekil değiştirme dikkate alınmalıdır. Mekanizmanın kuvvet iletimi yapmadan, sadece hareket transferi için kullanıldığı durumda, esnek dirseklerdeki gerilmelerin kaynağı bu deformasyonlardır. Diğer taraftan mekanizmanın hareketi esnasında, dışarıdan bir direnç olacağı unutulmamalıdır. Bu sebeple stres hesabına kuvvet analizinden elde edilen verilerle dahil edilmelidir.

Tasarlanan mekanizmanın kinematik analizleri neticesinde en fazla açısal şekil değişikliğine maruz kalan dirseğin, Şekil 2'de θ_3 ile gösterilen çıkış kolu-ara kol arasındaki mafsalda olduğu görülmüştür. Bu mafsalda oluşan azami açı değişimi δ ile ifade edilmiştir.

Kısa boylu esnek dirseklerde, rijit uzvun açısal konumu, dönel mafsallarla elde edilen pozisyondan göz ardı edilebilir bir oranda saptığı için, azami açısal deplasmanı veren δ , rijit uzvun açısı (θ) olarak kabul edilebilir

(Howell, 2002). Buna göre elastik deplasman sonucu oluşan gerilim aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

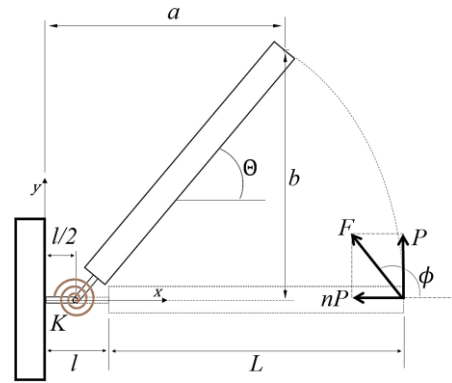
$$\delta = \theta \quad (15)$$

$$\sigma = \frac{F a c}{I} \quad (16)$$

$$a = \left(L + \frac{l}{2} \right) \cos(\theta) \quad (17)$$

$$F = \frac{K \theta}{\left(L + \frac{l}{2} \right) \sin(\phi - \theta)} \quad (18)$$

$$\sigma = \frac{c K \theta \cos(\theta)}{I \sin(\phi - \theta)} \quad (19)$$



Şekil 9. Kısa Boylu Esnek Dirsekle Oluşturulmuş Bir Uzun Sahte Rijit Yapı Modeli

Burada θ rijit kısmın açısal pozisyonunu, K ilgili esnek dirseğin yay sabitini ve c kısa boylu esnek dirseğin nötral ekseninden olan mesafeyi ifade etmektedir.

Denklem 19 kullanılarak en büyük açısal şekil değişikliğine maruz kalan kısa boylu esnek dirsek üzerinde esnemeye bağlı oluşan gerilim hesaplanabilir.

Denklem 13 'ten elde edilen kuvvet açısı, Şekil 9 üzerinde gösterilen koordinat düzleminde aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$\phi = \theta_4 - \beta \quad (20)$$

Mekanizmanın azami açısal değerleri ve deney düzeneğinde kullanılan prototip model için belirlenen boyutlar kullanılarak mekanizmadaki azami gerilim analitik olarak hesaplanmıştır. Esnek dirseğin kalınlığı 0,8 mm, mekanizmanın sayfa derinliği yönünde kalınlığı 8 mm ve kısa boylu esnek dirsek boyu 10 mm olarak belirlenmiştir. Buna göre dirseğin atalet momenti $I = 3,41 \times 10^{-13} \text{ m}^4$ olarak hesaplanmıştır.

Polipropilen malzemenin elastik modülü 1,55 GPa'dır (Bkz. Tablo 2 (<https://placerasinas.com.br>, 2024)). Buna

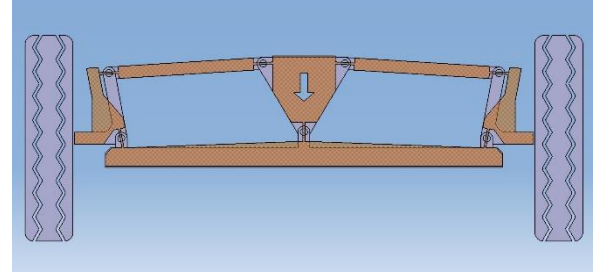
göre kısa boylu esnek dirseğin burulma yay sabiti Denklem 9 kullanılarak $k = 0,053 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{rad}$ olarak hesaplanmıştır. Giriş uzvunun $\theta_2 = 24^\circ$ 'lik hareketi neticesinde, en fazla açılma deplasmana uğrayan esnek dirseğin Freudenstein Denklemi kullanılarak (Freudenstein, 1954.) $\theta_3 = 33,4^\circ$ hareket ettiği tespit edilmiştir.

Tablo 2. Polipropilen Malzemenin Mekanik Özellikleri (<https://placeresinas.com.br>, 2024)

Typical values		Revision 20140109	
Properties	Unit (SI)	Values	Test methods
Polymer properties			
Melt flow rate (MFR) at 230 °C and 2.16 kg	g/10 min	3.1	ASTM D 1238
Density	kg/m ³	905	ASTM D 792
Molecular Weight Distribution	-	Broad	-
Isotacticity	-	Medium	-
Mechanical properties			
Tensile test			
stress at yield	1) MPa	36	ASTM D 638
strain at yield	1) %	10	
secant modulus at 1% elongation	2) MPa	1550	
Thermal properties			
Vicat softening temperature			
at 10 N (VST/A)	°C	152	ASTM D 1525
at 50 N (VST/B)	°C	88	

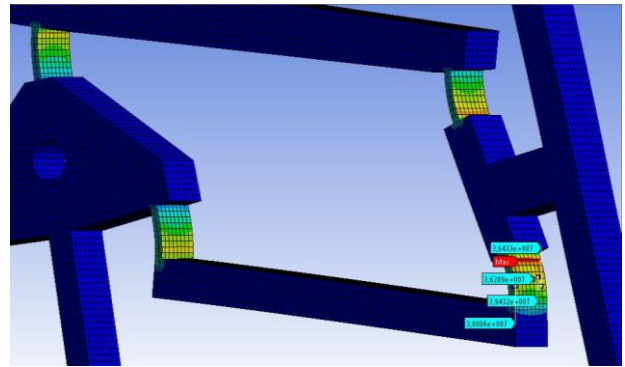
Prototip için oluşturulan modelde çıkış uzvuna etki eden direnç torku 0,02 N·m olarak belirlenmiştir. Bu değer öngörülen prototip ağırlığına göre 0,7 sürtünme katsayısı baz alınarak tespit edilmiş olup yaklaşık bir değerdir. İlgili değerler 5-12 numaralı eşitliklerde yerine koyulduğunda, çıkış uzvuna etki eden kuvvetin açısı $\beta = 8^\circ$ olarak tespit edilmiştir. Bu değerın uzvun dik eksenine oldukça yakın olması nedeniyle, kuvvetin uzva dik olduğu varsayılabilir. Bu varsayımla Şekil 9 üzerinde gösterilen uzuv ile kuvvet eksenini arasındaki açının $\phi = 90^\circ$ olduğu söylenebilir. Elde edilen sonuçlarla denklem 19 kullanılarak stres hesabı yapıldığında, prototip üzerindeki esnek dirseklerden, en yüksek strese maruz kalan dirseğin stres değeri $\sigma = 36,15 \text{ MPa}$ olarak belirlenmiştir. Bu değer Tablo 2. Polipropilen Malzemenin Mekanik Özellikleri Tablo 2'de verilen polipropilen malzemenin mekanik özelliklerinden akma mukavemeti değerine neredeyse eşittir.

Analitik yöntemlerle elde edilen azami gerilim değerinin doğrulanması için önerilen mekanizma sonlu elemanlar metodu kullanılarak bilgisayarda analiz edilmiştir. Bilgisayar ortamında analizin yapılabilmesi için öncelikle önerilen model 3 boyutlu tasarım programında modellenmiştir. Bu modeli oluşturmak için sahte-rijit yapı modeli kullanılmıştır. Rijit mekanizmanın mafsal noktaları esnek dirseklerin orta noktasına gelecek şekilde tasarım yapılmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. 3-Boyutlu Tasarım Programında Oluşturulmuş Mekanizma Ve Sahte-Rijit Yapı Modeli

Tasarım aşamasında analitik model, önerilen mekanizmanın ilk boyutlandırması için kullanılır. Esnek menteşelerin detaylı analizi ise sonlu elemanlar analizi ile yapılmaktadır. Analitik modelde olduğu gibi sonlu elemanlar yöntemi de 2 boyutlu analize dayanmaktadır. Analiz sırasında tasarım 10° 'lik açılarda üzerinde bükülmelere maruz kalacağı için çözümde linear olmayan analiz yöntemi seçilmiştir. Verilen parametreler için bükülmeden kaynaklanan maksimum gerilme noktasal olarak $\beta = 24^\circ$ 'de 42 MPa olarak belirlenmiştir. Gerilim yığılmaları göz ardı edildiğinde, mesnet üzerinde azami 37,5 MPa gerilim olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 11). Diğer esnek dirsekler incelendiğinde gerilimlerin bu değerın altında olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar kıyaslandığında sonlu elemanlar analizi ile elde edilen sonuçların, analitik yöntemle elde edilen sonuçlardan %3,7 kadar saptığı görülmüş olup, analizin analitik yöntemi teyit ettiği sonucuna varılmıştır.

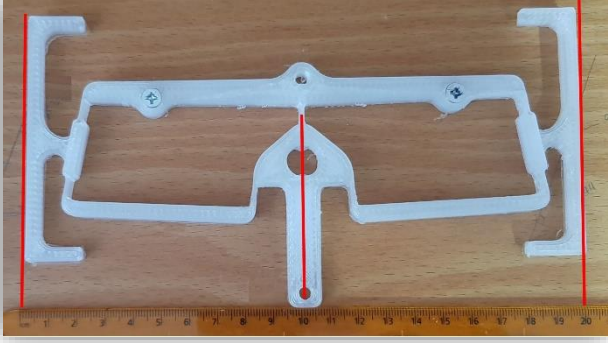


Şekil 11. Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Elde Edilen Analiz Sonuçları

4. Deney Düzenegi

Önerilen tasarımın gerçek koşullarda kanıtlanması amacıyla bir deney düzenegi hazırlanmıştır. Mekanizmanın analitik ve sonlu elemanlar metodu ile boyutlandırılmasında bu deney düzenegi için kullanılmak istenen model baz alınmıştır. Bu model için baz olarak 1/8 oranında küçültülmüş bir otomobilin boyutları kullanılmıştır. Örnek araç olarak, aks aralığı 2400 mm, iz açıklığı 1600 mm olan ortalama bir aile aracı

modellenmiştir. Araç ölçüleri baz alındığında, test amaçlı üretilen mekanizmanın sabit uzununun en sağdan en sola boyu 160 mm olarak boyutlandırılmıştır (Şekil 10). Ölçekli modelin her bir tekerine 300 gr yük düşeceği kabul edilerek, direksiyon çevrildiğinde oluşacak direnç torkunun 0,7 sürtünme katsayısı ile yönlendirme tekeri başına 0,02 N·m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 12. Deney Düzenegi, Nötr Konumda

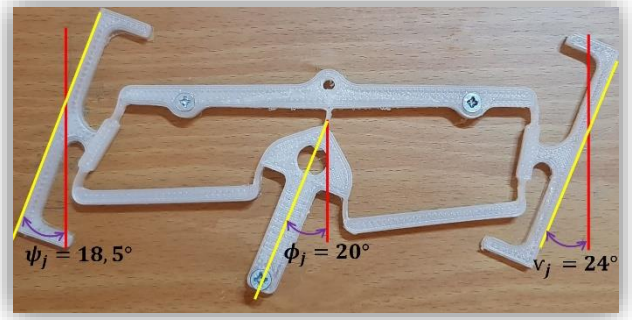
Modelin üretilmesi için 3 boyutlu yazıcı kullanılmıştır. Eriyik yığıma modelleme (FDM) yöntemi ile polipropilen malzeme kullanılarak üretim yapılmıştır. Prototip için yerli bir firma tarafından üretilmiş 3 boyutlu bir yazıcı kullanılmıştır (<https://dukkani.3d3teknoloji.com>, 2024).

Üretim esnasında 30 mm/s ilerleme hızı, 0,8 mm çaptaki nozül kullanılarak 0,2 mm katman yüksekliği, 230 C° ekstrüder sıcaklığı ve son olarak 90 C° yazdırma tablası sıcaklığı temel ayarlar olarak kullanılmıştır. Kullanılan ilerleme hızı, nozül sıcaklığı ve katman yüksekliği, üretilmek istenilen modelin boyutları göz önüne alınarak malzemenin ve üretim makinesinin alt limitlerine yakınsanmıştır. Bu sayede prototipin yüzey pürüzlülüğünde iyileşme sağlandığı gibi üretim toleranslarının dar bir aralıkta kalması sağlanmış ve ısı kaynaklı deformasyonların önüne geçilmiştir. Polipropilen malzemenin yüzeye tutunma kabiliyetinin düşük olması nedeniyle üretim tablası özel yapıştırıcı ile kaplanmıştır.

Elde edilen model ahşap bir tablaya sabitlenmiştir. Verilen giriş açısına göre dönüşün iç tarafındaki ve dış tarafındaki açısal değişimler ölçekten okunmuştur (Şekil 12).

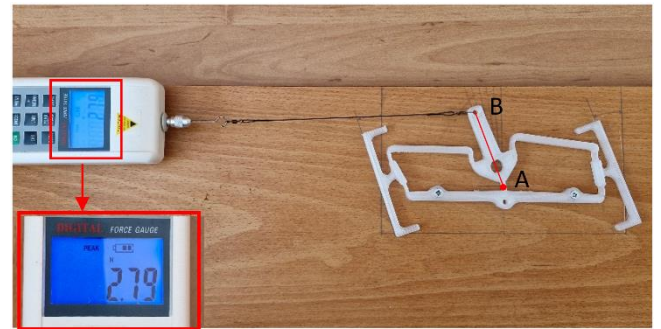
Test ve okumalar için, mekanizmanın giriş uzvu 20° sağa döndürülerek sabitlenmiştir. Mekanizma bu pozisyonda iken temsili sağ ve sol tekerlerin aldıkları açılar ölçülmüştür. Ölçümler neticesinde 20 derecelik sağa dönüş için, iç teker açısının 24° olduğu, dış teker açısının da 18,5° olduğu görülmüştür (Şekil 13). Bu değerler ile, Tablo 1 de verilmiş olan kinematik analiz sonuçları kıyaslandığında dış teker açısında 1,2° (%6,1), iç teker açısında 0,6° (%2,56) sapma olduğu görülmektedir. Bu sapmaların miktarı kabul edilebilir seviyede olmakla

birlikte sebep olarak mekanizmanın boyut faktörünün sapmaları arttırdığı şeklinde yorumlanmıştır. Diğer bir deyişle, üretim ve üretim sonrası işlemlerden kaynaklanan sabit ölçekli hataların, mekanizmanın kinematiki üzerinde, mekanizmanın boyutuyla ilişkili bir değişikliğe neden olabileceği, boyutlar küçüldükçe söz konusu hataların mekanizma kinematiki üzerinde daha etkili olacağı kabul edilmiştir. Diğer taraftan, ölçüm belirsizlikleri ve ölçme hataları da benzer farklılıklara neden olabilir.



Şekil 13. Manevra Durumunda Teker Açıları

Üretilen prototip mekanizmada, giriş torkunun tespiti için de ölçümler yapılmıştır. Şekil 14'de, yapılan ölçüm sunulmuştur. Bu ölçüm için mekanizmanın giriş uzvuna, pivot noktasına (Bkz. Şekil 14, A noktası) 60 mm mesafeden bir kuvvet uygulanmıştır. Uygulanan kuvvetin büyüklüğü, çelik bir sicim aracılığı ile bir kuvvetölçer kullanılarak ölçülmüştür. Kuvvetölçerde, giriş uzvunun 20 o deplasmanı için 2,79 N kuvvet değeri okunmuştur. Bu değer ile uzun boyu çarpıldığında giriş uzvuna uygulanan torkun 0,167 N.m olduğu hesaplanmıştır. Ölçümlerin oda sıcaklığında (25°C) yapıldığı ve tekrar eden 5 ölçümün ortalaması olduğu da ayrıca not edilmelidir.



Şekil 14. Tork Ölçümü Deney Düzenegi

Teorik hesaplamalarda, giriş uzvu 20° dönüş yaptığında, tüm mafsallarda oluşan açısal değişimler hesaplanmıştır. Bu açısal değişimler, her bir esnek dirseğin yay sabiti olan 0,053 N.m/rad değeri ile çarpılarak, o dirseğin direnç torku ve her dirsekteki direnç torku da birbirine eklenerek mekanizmanın toplam direnç torku

hesaplanmıştır. Bu yöntem ile teorik olarak hesaplanan toplam direnç torku 0,149 N.m çıkmaktadır.

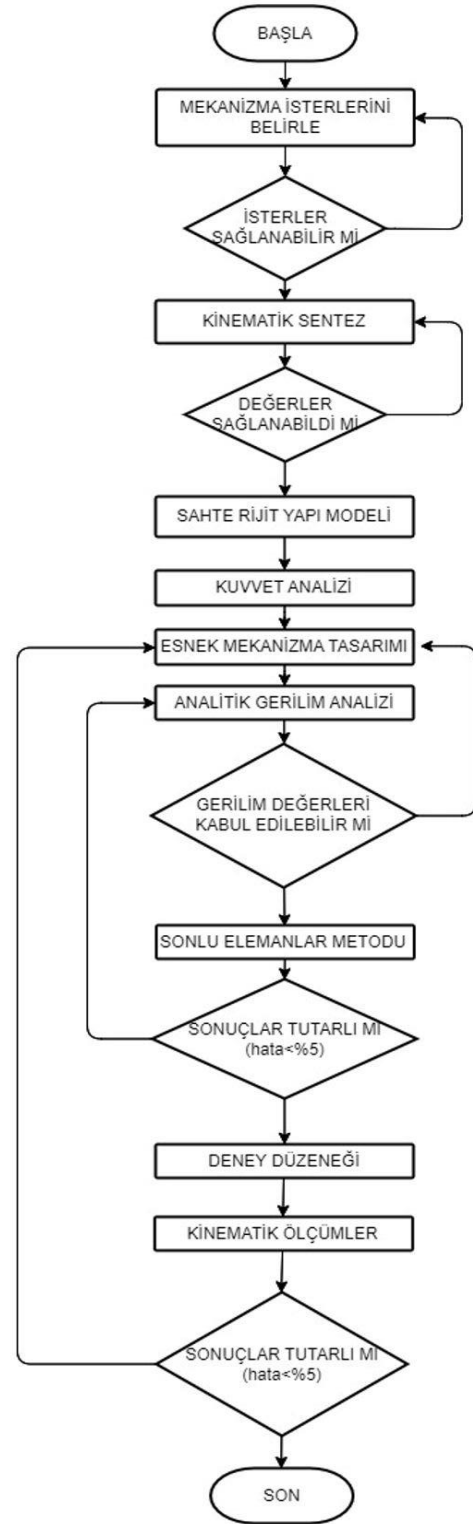
Teorik olarak hesaplanan değer ile prototip üzerinden alınan değer arasında 0,018 N.m fark olduğu görülmüştür. Bu değer pratik uygulamalar açısından değerlendirildiğinde son derece küçük ve kabul edilebilirdir. Aradaki farkın sebepleri arasında üretim toleransları, ölçüm belirsizlikleri, ölçüm hattındaki açıl sapmalar, üretim için kullanılan malzemenin referans değerlerinden olan sapmaları sayılabilir.

5. Sonuç

Yapılan çalışmada küçük ölçekli ve en az iki yönlendirme tekerine sahip kara araçları için Ackerman geometrisine uygun çalışan 6 çubuklu bir esnek direksiyon mekanizması modellenmiştir. Çalışmada yapılan tüm aşamalar Şekil 15'te verilmiş akış şeması ile tanımlanmıştır.

Ackerman geometrisini sağlayan rijit bir direksiyon mekanizması çok sayıda parça içerdiği için, özellikle düşük maliyetli üretim gereken uygulamalarda tercih edilmemektedir. Sadece Ackerman geometrisini sağlaması değil, mafsal yataklama parçaları hariç en az 8 parça gerektiren direksiyon mekanizmasını tek parça olarak üretmek çalışmanın ana çıktılarından biridir. Gerek oyuncak endüstrisinde gerekse de robotik/ insansız kara araçlarında uygulamak için son derece uygun bir prototip model ortaya çıkartılmıştır.

Çalışmada kinematik sentez bu mekanizmaya has olarak yapılmış olup, kinematik analizler ve bilgisayar destekli çizim programları yardımıyla sentez sonucu elde edilen hareket kabiliyetleri doğrulanmıştır. Yapılan çalışma sadece teorik olarak bırakılmamış, 3 boyutlu yazdırma teknolojisi kullanılarak prototip hazırlanarak test düzeneği oluşturulmuştur. Test düzeneği üzerinde yapılan ölçümlerde teorik olarak hesaplanan açıl değişimler azami 1,2° hata ile gözlemlenmiştir. Ortaya çıkan hataların sebepleri; üretim kusurları, kusurların mekanizma boyutları ile sapmaları arttırması, deney düzeneğinin montajı esnasında oluşan kusurlar ve ölçüm hatalarından olduğu şeklinde yorumlanmıştır. Deney düzeneği videosu çalışmanın sonuna eklenmiştir.



Şekil 15. Tasarım ve Test Faaliyetleri Akış Şeması

VİDEO

Rijit mekanizma kinematığı:

<https://youtu.be/0ccG1eUQ4zk?feature=shared>

Esnek mekanizma modeli:

<https://youtu.be/xZ3FdzdIRzo?feature=shared>

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Çağıl Merve Tanık, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, tasarımın ortaya konulması, sonlu eleman analizlerinin yapılması konularında; Raşit Karakuş, tasarımın ortaya konulması, uygulanması, bilgisayar ortamına aktarılması, üretimin yapılması, deney düzeneğinin hazırlanması ve makalenin oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Becker, W., Bian, X., ve Song, B. (2003). The optimization design of the McPherson strut and steering mechanism for automobiles. *Forsch. im Ingenieurwes*, 60-65. doi:10.1007/s10010-003-0107-6

Bian, X., Song, B., ve Walter, R. (2004). Bian, X.L., Song, B.A. and Walter, R., Optimization of steering linkage and double-wishbone suspension via R-W multi-body dynamic analysis. *Forsch. im Ingenieurwes*, 69(1), pp. 38-43, 2004. doi: 10.1007/s10010-004-0136-9. *Forsch Ingenieurwes*, 38-43. doi:10.1007/s10010-004-0136-9

Cao, L., Dolovich, A., ve Zhang, W. J. (2013). On understanding of design problem formulation for compliant mechanisms through topology optimization. *Mech. Sci.*, 357-369. doi:10.5194/ms-4-357-2013

Collard, J., Duysinx, P., ve Fiset, P. (2010). Optimal synthesis of planar mechanisms via an extensible-link approach. *Struct. Multidiscip. Optim.*, 403-415.

De-Juan, A., Sancibrian, R., ve Viadero, F. (2012). Optimal synthesis of function generation in steering linkages. *Int. J. Automot. Technol.*, 1033-1046. doi:10.1007/s12239-012-0106-4

FFreudenstein, F. D.-I. (tarih yok).

Fowler, R. M., Howell, L. L., ve Magleby, S. P. (2011). Compliant space mechanisms: a new frontier for compliant mechanisms. *Mech. Sci.*, 205-215. doi:10.5194/ms-2-205-2011

Freudenstein, F. (1954.). *Design of Four-link Mechanisms*. Columbia Uni., USA, : PhD Thesis.

Gillespie, T. (1992). *Fundamentals of vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers.

Howell, L. L. (2002). *Compliant Mechanisms*. New York: John Wiley ve Sons, Inc.

<https://dukkkan.3d3teknoloji.com>. (2024, Ocak). Erişim adresi: <https://dukkkan.3d3teknoloji.com/3d3-s1-3d-yazici-pmu199>

<https://placeresinas.com.br>. (2024, Ocak). Erişim adresi: <https://placeresinas.com.br/wp-content/uploads/2020/10/SABIC-500P.pdf>

Jazar, R. (2014). *Vehicle dynamics*. New York: Springer.

Lan, C. C. (2008). Analysis of large-displacement compliant mechanisms using an incremental linearization approach. *The Mechanism and Machine Theory*, 641-658. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2007.03.010

Lobontiu, N. (2002). *Compliant Mechanism Design of Flexure Hinges*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press.

Panchanathan, L., ve Huang, S.-C. (2023). Design and Analysis of Compliant Rack and Pinion Using Compliant Contact Rolling Joint . *Engineering Proceedings* 38.

Park, M., Lee, S., ve Han, W. (2015). Development of Steering Control System for Autonomous Vehicle Using Geometry-Based Path Tracking Algorithm. *Etri Journal*.

Rahmani-Hanzaki, A., Rao, P., ve Saha, S. (2009). Kinematic and sensitivity analysis and optimization of planar rack-and-pinion steering linkages. *Mech. Mach. Theory*, 45-56. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2008.02.014

Reda, A., Bouzid, A. A., ve Vásárhelyi. (2020). Model Predictive Control for Automated Vehicle Steering. *Acta Polytechnica Hungarica*, 163-182.

Romero, N. (2014). *Sítese Estrutural e Otimização Dimensional de Mecanismos de Direção*. Universidade Federal de Santa Catarina.

Shariati, M., ve Norouzi, M. (2011). Optimal synthesis of function generator of four-bar linkages based on distribution of precision points. *Meccanica*, 1007-1021. doi:10.1007/s11012-010-9357-1

Shigley, J. E., ve Uicker, J. J. (1980). *Theory of Machines and Mechanisms*. New York, USA: McGraw-Hill Book Co.

Simionescu, P., ve Beale, D. (2002). Optimum synthesis of the four-bar function generation in its symmetric embodiment: the Ackerman steering linkage. *Mech. Mach. Theory*, 1487-1504. doi:10.1016/S0094-114X(02)00071-X

Uyulan, Ç., ve İpek, B. (2021). Watt Six-Bar Compliant Mechanisms Analysis Based on Kinematic and Dynamic Responses. Scientific Research Communication. doi:10.52460/src.2021.002

Yao, J., ve Angeles, J. (2000). The kinematic synthesis of steering mechanisms. Trans. Can. Soc. Mech. Eng., 453-476. doi:10.1139/tcsme-2000-0035

ÜRETİLEN RÜZGAR ENERJİSİ TAHMİNİNDE HAVA KOŞULU VERİLERİNİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ VE MODELLENMESİ

Ege ERGİNEL¹, Çisil TİMURALP^{2*}

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği ABD, Eskişehir ORCID No:

<http://orcid.org/0009-0004-3155-3617>

^{2*} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Eskişehir ORCID No: <http://orcid.org/0000-0002-2894-3575>

Anahtar Kelimeler	Öz
Yenilenebilir Enerji Rüzgar Türbini Rüzgar Hızı Hava Koşulları İstatistiksel Analiz Regresyon Analizi	<i>Dünya çapında ve ülkemizde yaygın olarak kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından rüzgâr enerjisi Türkiye'nin enerji ihtiyacının %10,6'sını karşılamaktadır. Rüzgâr türbini, rüzgârdaki kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren sistemdir. Rüzgâr türbinin tasarımı ve doğal faktörler üretim kapasitesini doğrudan ve dolaylı olarak etkilemektedir. Doğal faktörlerin içerisinde rüzgâr santralinin kurulduğu konum ve konumdaki hâkim hava olayları yer almaktadır. Rüzgârdan üretilen enerjinin hava sıcaklığı, nemlilik, anlık esinti ve rüzgâr hızı gibi değişkenler ile ilişkisinin olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada, bahsedilen hâkim hava olayları verilerinin üretilen enerji ile arasındaki ilişkinin istatistiksel analizi yapılmış ve yorumlanmıştır. Araştırma için Eskişehir bölgesinde kurulu, Kartal Res rüzgar enerji santrali seçilmiştir. İlgili rüzgar türbininden Ekim-2023 ayı için toplanan veriler ile hava koşulları verileri arasındaki ilişkiler pearson-korelasyon analizi ile belirlenmiş, üretilen enerjiye etki eden değişkenlerin belirlenmesi için ise regresyon analizi yapılmıştır. Üretilen enerjinin tahmininde rüzgar hızına bağlı olarak kübik matematiksel modelin daha iyi olduğu ortaya konmuştur. Bahsedilen kübik matematiksel modelin üretilen enerjideki değişkenliği $R^2(adj)=\%65,39$ ile iyi derecede açıkladığı tespit edilmiştir.</i>

STATISTICAL ANALYSIS AND MODELING OF WEATHER CONDITION DATA IN ESTIMATE OF PRODUCED WIND ENERGY

Key Words	Abstract
Renewable energy Wind turbine Wind speed Weather conditions Statistical analysis Regression Analysis	<i>Wind energy, a widely utilized renewable energy source both globally and in our country, accounts for 10.6% of our nation's energy demand. A wind turbine is a system that converts the kinetic energy from wind into electrical energy. The design of wind turbines and natural factors directly and indirectly affect their production capacity. Among these natural factors are the geographical location of the wind farm and prevalent weather phenomena in the area. It is believed that wind energy production correlates with variables such as air temperature, humidity, instantaneous breeze, and wind speed. This research conducts a statistical analysis and interpretation of the relationship between the mentioned dominant weather conditions data and the energy produced. The Kartal Res wind energy plant, situated in the Eskisehir region, was selected for this study. Pearson correlation analysis was employed to determine the relationships between the collected data for October 2023 from the relevant wind turbine and the weather conditions data. Regression analysis was conducted to identify the variables affecting the energy produced. It was found that a cubic mathematical model based on wind speed performs better in predicting the generated energy. The mentioned cubic mathematical model adequately explains the variability in the produced energy, with an $R^2(adj)$ of 65.39%.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 03.04.2024

Kabul Tarihi : 15.08.2024

Research Article

Submission Date : 03.04.2024

Accepted Date : 15.08.2024

* Sorumlu yazar: cisil@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1460119>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Günümüzde enerji talepleri hızla artarken, dünya kaynaklarını koruma ve çevresel sürdürülebilirliği sağlama ihtiyacı da bir o kadar önem kazanmıştır. Bu kaynaklar, endüstriyel devrimden bu yana ekonomik büyümeyi desteklemiş ve modern yaşamın temelini oluşturmuştur. Ancak fosil yakıtların kullanımı ciddi çevresel ve ekonomik sorunlara yol açmaktadır. Fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkan karbon dioksit (CO₂) ve diğer sera gazları, küresel ısınma ve iklim değişikliğinin başlıca nedenlerindedir. Ayrıca, fosil yakıtların çıkarılması, taşınması ve işlenmesi süreçlerinde çevresel kirlenme ve habitat tahribatı meydana gelmektedir. Ekonomik açıdan, fosil yakıtların arzı sınırlıdır ve fiyatları dalgalanmalara karşı hassastır. Bu durum, enerji güvenliğini tehdit etmekte ve enerji bağımlılığını artırmaktadır. Fosil yakıt rezervlerinin sınırlı olması, uzun vadede sürdürülebilir bir enerji politikası oluşturmayı zorlaştırmaktadır. Bu bağlamda, yenilenebilir enerji kaynakları, enerji ihtiyacını karşılamak ve çevresel etkileri en aza indirmek adına önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, özellikle rüzgar enerjisinin küresel enerji dengesini dönüştürme potansiyeline odaklanılmıştır.

Dünya genelinde kullanılan enerjinin önemli bir kısmı yenilenebilir kaynaklardan elde edilmektedir. 2020 yılında, dünya genelinde toplam elektrik üretiminin yaklaşık %29'u yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır (Global Wind Energy Council, 2020). Bu oran, güneş, rüzgar, hidroelektrik ve diğer yenilenebilir kaynakların birleşiminden oluşmaktadır. Yenilenebilir enerjinin bu payı, birçok ülkenin enerji politikalarında yaptığı düzenlemeler ve yatırımlar sayesinde her yıl artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımındaki bu artış, fosil yakıtların çevresel etkileri ve iklim değişikliği gibi küresel sorunların azaltılmasına yönelik çabaların bir parçası olarak görülmektedir. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı'na (IRENA) göre, 2020 yılında dünya genelinde yenilenebilir enerji kapasitesi 2,799 GW'a ulaşmıştır ve bu kapasitenin büyük bir kısmı hidroelektrik, güneş ve rüzgar enerjisinden gelmektedir (International Renewable Energy Agency, 2020).

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynakları açısından zengin bir potansiyele sahiptir. 2020 yılı verilerine göre, Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin %42'si yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir (TEİAŞ, 2020). Bu oran, hidroelektrik, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyokütle gibi çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile sağlanmaktadır. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı verilerine göre, 2023 yılında elektrik üretiminin %19.6'sı hidrolik enerjiden, %10,4'ü rüzgar enerjisinden, %5.7'si güneş enerjisinden ve %3,4'lük kısmı da jeotermal enerjiden sağlanmıştır. (T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2024).

Yenilenebilir enerji, güneş, rüzgar, su ve biyokütle gibi doğal kaynaklardan elde edilen enerji türlerini içermektedir. Rüzgar enerjisi, son yıllarda küresel enerji talebinin büyük bir bölümünü karşılamak amacıyla temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır (Kusiak, Zhang, Verma, 2013). Rüzgar enerjisi, doğal rüzgar akımlarının kinetik enerjisini elektrik enerjisine dönüştürerek çevre dostu bir enerji üretim yolunu sunmaktadır. Bu kaynağı çekici kılan faktörlerden birisi sınırsız bir kaynak olması ve atmosferde sürekli olarak meydana gelen rüzgar hareketlerinden elde edilebilmesidir. Diğer faktörler ise, rüzgar türbinlerinin ve tesislerinin kurulum ve işletme aşamalarında diğer enerji kaynaklarına kıyasla düşük karbon emisyonlarına sahip olması ve nispeten daha az maliyetli kurulabilmesidir. T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu verilerine göre 2024 yılı Ocak ayı itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu gücü 107.270,87 MW olup bunun 59.467,82 MW'lık kısmı (%55,44'ü) yenilenebilir enerji kaynaklıdır. Elektrik kurulu gücümüzün 11.885,90 MW'ı rüzgar enerjisine dayanmakta ve bu oran toplam kurulu güç içinde %11,08'lik dilimi oluşturmaktadır (EPDK, 2024).

Rüzgar türbinlerinin verimli çalışabilmesi ve maksimum enerjiyi üretebilmesi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu faktörler rüzgar türbinlerinin fiziksel yapıları olabileceği gibi hava basıncı, nemlilik, anlık esinti ve rüzgâr hızı gibi hava şartlarına da bağlı olabilir. Rüzgar Enerjisi Üretimi, diğer geleneksel kaynaklardan farklı olarak, sadece rüzgar kaynağına bağımlıdır. Rüzgâr şiddetinin alansal ve zamansal olarak kesikli olması nedeniyle rüzgâr güç üretiminin kısa süreli tahmini ve planlamasına ihtiyaç bulunmaktadır. Bu kapsamda, özellikle rüzgâr enerjisi üreticileri ve kamunun enerji yönetimi açısından, doğru ve güvenilir tahminler önem kazanmaktadır (Dündar, Dokuyuncu, Oğuz ve Bacanlı 2011).

2. Bilimsel Yazın Taraması

Rüzgar enerjisi, geniş rezervleri ve kirlilik içermeyen yapısı nedeniyle, rüzgar enerjisi üretiminde yaygın olarak kullanılan, ümit verici bir yenilenebilir enerji kaynağını temsil etmektedir (Kusiak, Zhang ve Verma, 2013). Son yıllarda yapılan araştırmalarla özellikle rüzgar hızındaki değişkenlik, enerji üretim verimliliğinin artırılması ve üretim maliyetinin düşürülmesi gibi konulara odaklanarak sektördeki gelişmeye katkıda bulunulmuştur. Rüzgar hızı ve diğer faktörler ile üretilen enerji arasındaki ilişkiyi açıkça ortaya koymak araştırmanın geleceğinde hava tahmin raporları analiz edilerek üretilecek enerjinin saatler hatta günler öncesinden tahmin edilmesine olanak sağlayabilmektedir. Bu da enerji planlaması açısından oldukça önemlidir. Ackermann ve Soder (2000) çalışmalarında rüzgar türbinleri ve rüzgar projelerindeki sorunlar da dahil olmak üzere rüzgar

enerjisi teknolojisindeki tarihsel gelişmeleri ortaya koymuşlardır. Weisser ve Garcia (2005) ise rüzgar-dizel hibrit sistemlerini araştırmış ve bunların zorluklarını tartışmıştır. Herbert, Iniyen, Sreevalsan ve Rajapandian (2007) rüzgâr kaynağı değerlendirmesini, yer seçimini ve iz etkileri de dahil olmak üzere aerodinamik modelleri kapsayan bir araştırma yapmışlardır. Foley, Leahy, Marvuglia ve McKeogh (2012) rüzgar enerjisi tahmininde uygulanan kavram ve teknikleri ele almışlardır. Chen, Wei, Yang ve Liu (2023) çalışmalarında rüzgar hızı ev yönüne bağlı olarak kurulacak rüzgar türbininin seçimi için ekonomik bir yaklaşım önermişlerdir. Yıldırım, Gazibey ve Güngör (2016) yaptıkları istatistiksel çalışmada Niğde bölgesindeki rüzgar enerjisi potansiyelini, Yanıktepe ve Kara (2021) ise Osmaniye'deki üniversite kampüsünün rüzgar enerjisi potansiyelini 3 farklı istatistiksel dağılım yöntemi ile sunmuşlardır. Ayar, Gülten Yalçın ve Dağ (2023) ise rüzgar enerjisi ve türbünleri hakkında bilgiler vererek Türkiye'de kurulu rüzgar enerjilerini çalışmalarında sunmuşlardır.

Bu çalışmada ise, Eskişehir bölgesinde bulunan rüzgar enerji santrali olan KARTAL RES rüzgar türbininden Ekim 2023 ayı için elde edilen veriler ile hava sıcaklığı, nemlilik, anlık esinti ve rüzgâr hızının üretilen elektrik enerjisi ile aralarındaki ilişkiler pearson-korelasyon analizi ile ortaya konmuştur. Ayrıca üretilen elektrik enerjisine etki eden değişkenlerin belirlenmesi için de doğrusal ve polinom regresyon analizleri yapılmıştır.

Literatüre bakıldığında üretilen elektrik enerjisi ile rüzgar hızı arasında kübik bir ilişki olduğu belirtilmektedir (Karlı ve Geçit 2003). Bu çalışma sonucunda da, gerçek verilere en uygun matematiksel denklemin R^2 (adj)=65,39 ile kübik bir fonksiyon ile ifade edilebileceği görülmüştür.

Makalenin üçüncü bölümünde kullanılan yöntemler, dördüncü bölümünde gerçek verilere dayalı yapılan analizler bulgular olarak verilmiş, beşinci bölümde bulgular tartışılmış ve altıncı bölümde sonuçlar verilmiştir.

3. Yöntem

Rüzgar hızı ve üretilen enerji verileri, rüzgar enerjisi tesislerinin performansını izlemek ve optimize etmek için önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu veriler, tesisin verimliliğini değerlendirmek, bakımları planlamak ve enerji üretim tahminlerini geliştirmek için kullanılmaktadır. Rüzgar hızı, nemlilik, anlık esinti hızı ve hava sıcaklığı gibi parametrelerin tamamı hava koşulları olarak nitelendirilmektedir.

Elde edilen rüzgar hızı ve diğer hava koşulları ile üretilen enerji verileri genellikle bilgisayar tabanlı veri analizi ve yönetim sistemleri kullanılarak işlenmektedir. Bu sistemler, veri setlerini analiz ederek tesisin performansını değerlendirmek, sorunları tespit

etmek ve gelecekteki enerji üretimini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada rüzgar hızı ve diğer hava koşulları ile üretilen enerji verilerinin istatistiksel analizinde pearson-korelasyon analizi, doğrusal ve polinom regresyon analizleri kullanılmıştır.

Pearson-korelasyon katsayısı, iki değişken arasındaki ilişkinin gücünü ve yönünü gösteren istatistiksel bir terimdir. Ancak nedensel bir ilişkiyi belirtmez. Yani, iki değişken arasında korelasyon bulunsa bile, birinin diğerini neden etkilediği konusunda kesin bir bilgi sağlamaz. Korelasyon katsayısı -1 ile 1 arasında bir değer alır. +1 iki değişken arasında pozitif kuvvetli bir ilişkinin olduğunu, -1 değeri iki değişken arasında negatif kuvvetli bir ilişki olduğunu gösterirken 0 değeri ise herhangi bir doğrusal ilişkinin olmadığını temsil etmektedir.

Doğrusal regresyon, iki veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi modellemek için kullanılan bir istatistiksel yöntemdir. İki değişken arasındaki ilişkiyi anlamak ve bir değişkenin diğerini nasıl etkilediğini öngörmek için kullanılır. Doğrusal regresyon, genellikle bir bağımlı değişkenin bağımsız değişkenler tarafından nasıl açıklandığını belirlemek için kullanılmaktadır.

Doğrusal regresyon modeli genellikle aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1 X_i \quad (1)$$

Burada:

\hat{Y}_i , i. bağımlı değişkenin tahmin değeri,

X_i , i. bağımsız değişken,

b_1 , eğim (regresyon katsayısı),

b_0 , y-kesişim noktasını

temsil etmektedir (Hines ve Montgomery, 1990).

Doğrusal regresyon, veri setindeki ilişkileri anlamak ve gelecekteki değerleri tahmin etmek için kullanılmaktadır. Bu yöntem, bir değişkenin diğerini hangi yönde etkilediğini ve bu etkinin ne kadar güçlü olduğunu anlamamıza yardımcı olmaktadır.

Polinom regresyon ise doğrusal regresyonun genişletilmiş bir formudur ve veri setlerindeki karmaşık ilişkileri modelleme yeteneği sunmaktadır. Doğrusal regresyon, bir bağımlı değişkenin bağımsız değişkenlerle doğrusal bir ilişkisini tahmin etmeye odaklanırken, polinom regresyon, bu ilişkiyi doğrusal olmayan bir şekilde modellemek için kullanılmaktadır. Polinom regresyonun temel özellikleri esneklik, derece kontrolü ve eğri uyumudur. Doğrusal regresyonun yetersiz olduğu durumlarda, polinom regresyon, fiziksel olayların daha karmaşık modellerini oluşturmak için kullanılmaktadır. Polinom regresyon, veri setlerindeki karmaşıklık ve doğrusallık dışındaki ilişkileri modelleme yeteneğiyle, analizlerin daha derinlemesine ve etkili olmasını sağlar. Ancak, modelin

aşırı uyum riskini göz önünde bulundurarak, uygun derece ve dikkatli değerlendirme yöntemleri kullanılmalıdır. Bu, polinom regresyonunun doğru ve güvenilir tahminler yapma kabiliyetini artırmaktadır. Polinom regresyon analizlerinden biri de kareli terimin de modelde olduğu matematiksel modeldir ve yapısı aşağıdaki gibidir:

$$\hat{Y}_i = b_0 + b_1X_i + b_2X_i^2 \quad (2)$$

Burada formül (1)'deki açıklamalara ilave olarak;

b_2 : kareli terimin katsayısı'nı temsil etmektedir (Hines ve Montgomery, 1990).

Tablo 1. Santralin Rüzgar Hızı Ortalaması ve Üretilen Enerji Ortalaması Verileri

Tarih	Rüzgar Hız Ortalaması (Km/h)	Üretilen Enerji Ortalaması (MW/h)
2023-10-02	28,0	36,007917
2023-10-03	18,1	17,643750
2023-10-04	12,4	1,567500
2023-10-05	11,1	2,877500
2023-10-06	14,8	5,599583
2023-10-07	14,5	3,123333
2023-10-08	13,0	8,378333
2023-10-09	18,6	16,824583
2023-10-10	23,8	15,647917
2023-10-11	17,3	11,054167
2023-10-12	11,4	9,711667
2023-10-13	14,7	3,079167
2023-10-14	16,3	2,990000
2023-10-15	14,3	6,620833
2023-10-16	22,0	14,907500
2023-10-17	15,8	1,401667
2023-10-18	17,8	7,532917
2023-10-19	14,5	11,403750
2023-10-20	12,9	14,967500
2023-10-21	7,0	2,594167
2023-10-22	7,8	1,054167
2023-10-23	6,5	0,139167
2023-10-24	12,7	1,755000
2023-10-25	20,5	14,881667
2023-10-26	20,8	15,704583
2023-10-27	20,0	28,557917
2023-10-28	19,4	16,117083
2023-10-29	11,6	2,811250
2023-10-30	18,3	5,155417

Yapılan bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4. Bulgular

Çalışmada pilot bölge olarak Eskişehir, pilot rüzgar enerji santrali olarak KARTAL RES seçilmiştir. Kurulu gücü 39 MWe olan Kartal Rüzgar Enerji Santrali Eskişehir'in Tepebaşı ilçesinde bulunmaktadır ve şehrin 4., Türkiye'nin ise 349. büyük enerji santralidir (www.enerjiatlası.com).

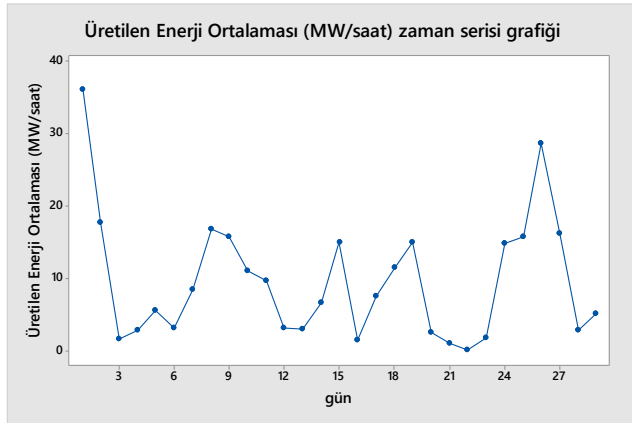
Tablo 2. Seçilen Santralin Sıcaklık, Nem ve Anlık Esinti Verileri

Tarih	Sıcaklık (°C)	Nem (g/m ³)	Anlık Esinti (Km/h)
2023-10-02	15,1	77,2	37,1
2023-10-03	14,7	66,0	25,9
2023-10-04	12,1	73,5	16,6
2023-10-05	12,5	68,7	22,3
2023-10-06	13,3	68,0	27,4
2023-10-07	14,4	69,2	18,7
2023-10-08	13,7	67,0	28,1
2023-10-09	13	75,6	28,4
2023-10-10	12,3	70,6	37,4
2023-10-11	13,1	65,0	23,4
2023-10-12	10,2	72,1	25,2
2023-10-13	11,6	63,2	18,0
2023-10-14	12,3	65,8	21,2
2023-10-15	13	60,9	25,6
2023-10-16	11,7	71,6	40,3
2023-10-17	12,9	69,6	19,1
2023-10-18	11,1	83,8	31,0
2023-10-19	11,3	75,0	24,1
2023-10-20	11,3	71,6	18,4
2023-10-21	13,7	64,3	11,2
2023-10-22	14	61,3	17,3
2023-10-23	14,1	59,7	15,7
2023-10-24	15,6	54,6	28,4
2023-10-25	13,6	58,5	35,3
2023-10-26	15,3	51,1	34,2
2023-10-27	16,2	58,2	41,0
2023-10-28	15,6	63,6	37,1
2023-10-29	14,6	71,4	18,7
2023-10-30	15	75,7	29,5

Tablo 2'de ele alınan santralin rüzgar hızı ortalamaları ve üretilen enerji ortalaması verileri sunulmuştur. Hesaplanan günlük rüzgar hız ortalamaları ve ortalama enerji üretim verileri EPIAŞ Şeffaflık Platformu veri havuzundan elde edilmiştir ve 02.10.2023 Saat 00:00

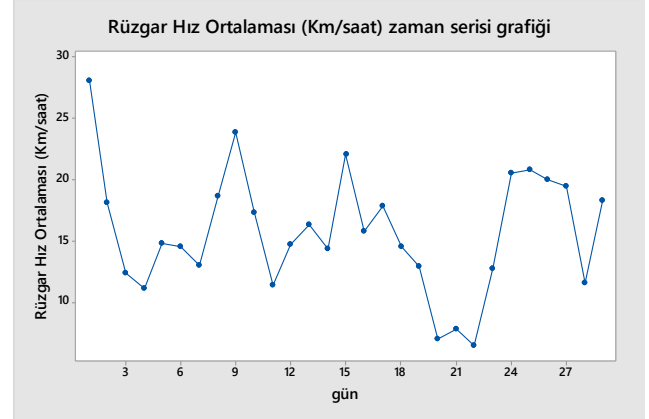
ile 30.10.2023 Saat 23:00 arasındaki 29 günlük periyodu kapsamaktadır (EPIAŞ, 2023).

Tablo 2 ise santralin sıcaklık, nem ve anlık esinti verilerini göstermektedir. Hava veriler "Weather Query Builder" sitesi üzerinden Eskişehir Tepebaşı konumu baz alınarak elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen hava koşulları olarak anlık esinti hızı, nem oranı ve sıcaklık verileri istenilen tarih aralığında saatlik ve günlük ortalama olarak elde edilmiştir. Rüzgar hızı ve anlık rüzgar esintisi hızı arasında temel fark ise, sürekli rüzgar, iki dakika boyunca ortalama rüzgar hızı olarak tanımlanırken anlık esinti hızı ise rüzgar hızındaki ani patlama olarak tarif edilir ve genellikle 20 saniyeden kısa sürmektedir (Cheng, Lin, Bao ve Xue, 2009).

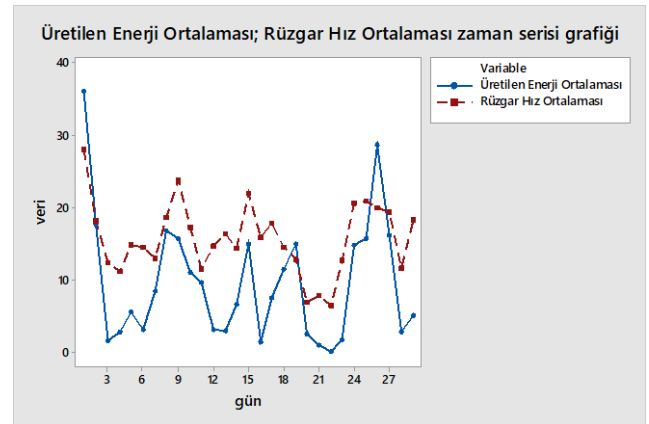


Şekil 1. Üretilen Enerji Ortalaması Zaman Serisi-29 Günlük

Araştırmada istatistiksel veri analizleri ve grafik çizimleri için MINITAB 17 programı kullanılmıştır. Şekil 1 günlük ortalama üretilen enerji, Şekil 2 ise günlük ortalama rüzgar hızının zamana bağlı değişim grafiğini göstermektedir. Her iki eğrinin aynı grafik üzerinde gösterimi Şekil 3'de yer almaktadır. Şekil 3'den görüldüğü üzere, ortalama üretilen enerji ile ortalama rüzgar hızı arasında ilişki olduğu görülmektedir.

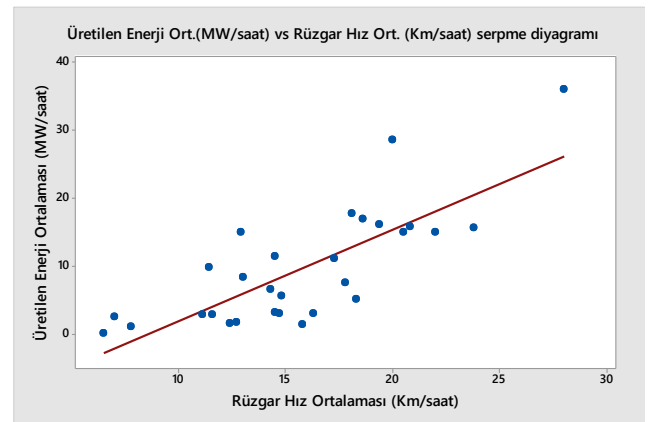


Şekil 2. Rüzgar Hızı Ortalaması Zaman Serisi-29 Günlük

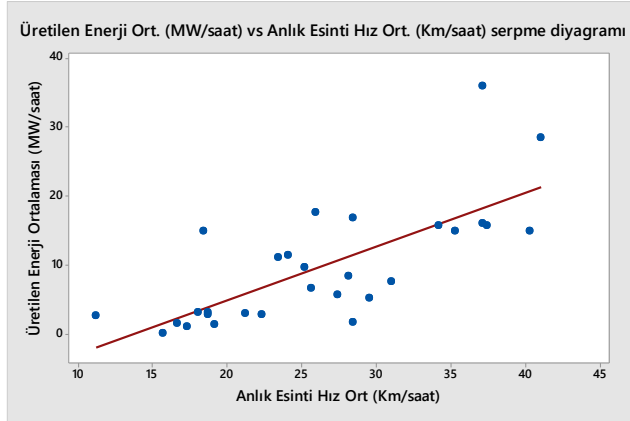


Şekil 3. Üretilen Enerji ve Rüzgar Hızı Ortalaması Zaman Serisi-29 Günlük

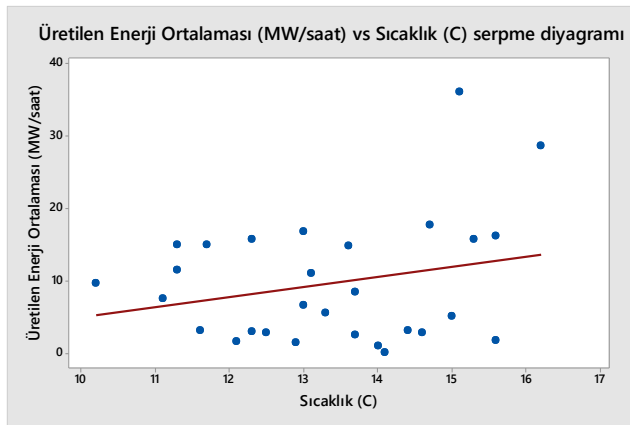
Şekil 4'de üretilen enerji ortalaması ile rüzgar hızı ortalaması Şekil 5'de ise üretilen enerji ortalaması ve anlık esinti hızı ortalaması arasındaki doğrusal ilişkiyi gösteren serpm diyagramları verilmiştir. Bu diyagramlardan görüldüğü gibi rüzgar hızı ortalaması ve anlık esinti hızı ortalaması arttıkça üretilen enerji ortalamasının da arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4. Üretilen Enerji Ortalaması ile Rüzgar Hızı Ortalaması Serpm Diyagramı

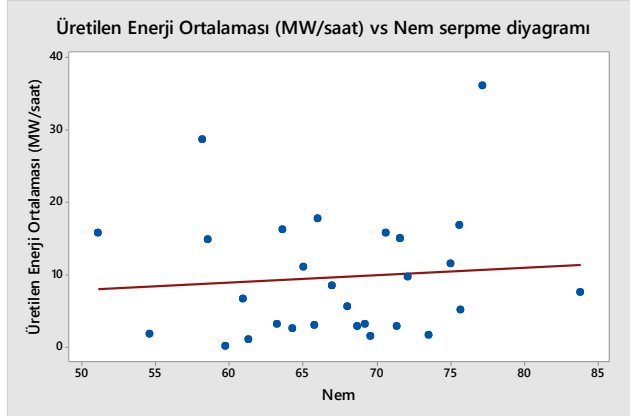


Şekil 5. Üretilen Enerji Ortalaması ile Anlık Esinti Hızı Ortalaması Serpme Diyagramı



Şekil 6. Üretilen Enerji Ortalaması ile Sıcaklık (°C) Serpme Diyagramı

Şekil 6'da üretilen enerji ortalaması ile hava sıcaklığı arasındaki ilişkiyi gösteren serpme diyagramı verilmiştir. Burada doğrusal ilişkiyi ifade eden doğrunun eğiminin az olması aralarındaki ilişkinin de az olduğunu göstermektedir. Üretilen enerji ortalaması ile nem arasındaki ilişkiyi gösteren serpme diyagramı Şekil 7'de verilmiştir. Bu diyagramdaki doğrunun eğiminin çok daha az olması aralarında ilişkinin olmadığını göstermektedir.



Şekil 7. Üretilen Enerji Ortalaması ile Nem (g/m³) Serpme Diyagramı

Üretilen enerji ortalaması ile hava koşulları arasındaki ilişki şekilsel olarak serpme diyagramları ile ifade edildiği gibi bu ilişkiyi sayısal olarak ortaya koymak için pearson-korelasyon analizi yapılmış ve sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir. Pearson korelasyon analizine göre, rüzgar hız ortalaması ile anlık esinti ortalaması arasında % 83 derecesinde pozitif yönde güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir (p-value < 0,05). Aynı şekilde üretilen enerji miktarı ile rüzgar hızı ortalaması ve anlık esinti hız ortalaması arasında güçlü ve pozitif yönde ilişki bulunmaktadır. Korelasyon katsayıları ve p-value değerleri sırasıyla %77,7 ve % 73,5 ve her ikisi için de p-value < 0,05 çıkmıştır. p-value değerlerinin 0,05'den küçük olması aralarındaki ilişkinin %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir.

Tablo 3. Değişkenler Arası İlişkiyi Gösteren Pearson Korelasyon Analizi

	Sıcaklık	Nem	Anlık Esinti	Rüzgar Hızı
Hızlı Nem	-0,505 0,005			
Anlık Esinti	0,267 0,161	-0,020 0,919		
Rüzgar Hızı	0,176 0,361	0,177 0,359	0,830 0,000	
Üretilen Enerji	0,251 0,188	0,088 0,650	0,735 0,000	0,777 0,000

Cell Contents: Pearson correlation
P-Value

Üretilen enerji ortalamasına etki eden hava koşullarının belirlenmesi için doğrusal regresyon analizi yapılmıştır. Burada "nem" ve "sıcaklık" değerleri ortalamaları, "anlık esinti hız ortalaması" ve "rüzgar hız ortalaması" değerleri bağımsız değişken olarak ele alınmış, bu bağımsız değişkenler ile rüzgar türbininden elde edilen "üretilen enerji ortalaması" ise bağımlı değişken olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. Doğrusal Regresyon Analizi

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
Constant	-25,6	19,5	-1,32	0,201
Sıcaklık	0,650	0,825	0,79	0,438
Nem	0,073	0,181	0,40	0,691
Anlık Esinti	0,292	0,245	1,19	0,245
Rüzgar Hız	0,894	0,408	2,19	0,039

Tablo 5. Doğrusal Regresyon Denklemi

Regression Equation	
Üretilen Enerji Ortalaması (MW/h)	= -25,6
+ 0,650 Sıcaklık (OC)	+ 0,073 Nem
+ 0,292 Anlık Esinti Hız Ort (Km/h)	
+ 0,894 Rüzgar Hız Ortalaması (Km/h)	

Tablo 6. Doğrusal Regresyon Denklemi Varyans Analizi-ANOVA Tablosu

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	4	1313,09	328,273	10,62	0,000
Sıcaklık	1	19,20	19,199	0,62	0,438
Nem	1	5,02	5,018	0,16	0,691
Anlık Esinti	1	43,85	43,855	1,42	0,245
Rüzgar Hız	1	148,18	148,185	4,79	0,039
Error	24	741,79	30,908		
Total	28	2054,88			

Tablo 7. Modelin Özeti

Model Summary		
S	R-sq	R-sq(adj)
5,55950	63,90%	57,88%

Yapılan doğrusal regresyon analizi katsayılar, katsayıların anlamlılık testi için t-değerleri, p-değeri ve VIF değerleri Tablo 4'de verilmiştir. Burada sıcaklık, nem ve anlık esinti hız ortalaması bağımsız değişkenlerinin p-değerleri sırasıyla 0,438; 0,691; 0,245 bulunmuş ve bu değerler 0,05'den büyük olduğundan üretilen enerji ortalaması üzerine etkisi yoktur. Bu aynı şekilde Tablo 6'da verilen varyans analizi sonuçları için de geçerlidir. Burada da sıcaklık, nem ve anlık esinti hız ortalaması bağımsız değişkenlerinin p-değerleri > 0,05 olduğundan üretilen enerji ortalamasındaki değişkenliği %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak açıklamamaktadır. Tablo 5'de tüm bağımsız değişkenlerin olduğu doğrusal regresyon denklemi görülmektedir. Tablo 7'de ise kurulan modelin %57,88 oranında üretilen enerji ortalamasındaki değişkenliği orta derecede açıkladığı görülmüştür. Bu oranın büyük bir kısmı rüzgar hızı ortalaması bağımsız değişkeninden gelmektedir. Ayrıca korelasyon analizinden görüldüğü gibi iki bağımsız değişken olan "anlık esinti hız ortalaması" ve "rüzgar hız ortalaması" arasında ilişki yüksek olduğundan regresyon analizinde ilişkili olan değişkenlerden sadece birinin yer alması uygun olmaktadır.

Bu analiz sonuçlarına göre, nem, sıcaklık ve anlık esinti hız ortalaması bağımsız değişkenleri modelden çıkarılarak sadece "rüzgar hız ortalaması" bağımsız değişkeni ile "üretilen enerji ortalaması" bağımlı değişkeni arasındaki ilişki doğrusal regresyon analizi ile araştırılmış ve Tablo 8-11'de verilmiştir.

Bu analiz sonuçlarından görüldüğü gibi "rüzgar hız ortalaması"nın p-değeri < 0,05 olduğundan üretilen

enerji ortalamasının rüzgar hız ortalamasına bağlı olduğu istatistiksel olarak gösterilmiştir.

Tablo 8. Doğrusal Regresyon Analizi (Rüzgar Hız Ortalaması Bağımsız Değişkeni için)

Coefficients						
Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF	
Constant	-11,47	3,45	-3,33	0,003		
Rüzgar Hızı	1,344	0,210	6,41	0,000	1,00	

Tablo 8'de modelin katsayıları, katsayının anlamlılığını gösteren t-değeri ve p-değeri verilmiştir. Tablo 9'da ise doğrusal regresyon modeli verilmiştir. Bu sonuçlara göre, sadece regresyon modelinde bağımsız değişken olarak "rüzgar hız ortalaması" ve bağımlı değişken olarak "üretilen enerji ortalaması" bulunduğu, Tablo 10'da verilen ANOVA tablosuna bakıldığında "rüzgar hız ortalaması" p-değeri < 0,05 olduğu için bağımlı değişken olan "üretilen enerji ortalaması" arasında ilişki vardır. Ayrıca Tablo 11'de verilen R² (adj) değeri %58,91 olduğundan bu ilişkinin "orta-iyi" derecede olduğu söylenebilir.

Tablo 9. Doğrusal Regresyon Denklemi (Rüzgar Hız Ortalaması Bağımsız Değişkeni için)

Regression Equation	
Üretilen Enerji Ortalaması (MW/h)	= -11,47
+ 1,344 Rüzgar Hız Ortalaması (Km/h)	

Tablo 10. Doğrusal Regresyon Denklemi Varyans Analizi-ANOVA Tablosu (Rüzgar Hız Ortalaması Bağımsız Değişkeni için)

Analysis of Variance					
Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Regression	1	1240,75	1240,75	41,15	0,000
Rüzgar Hızı	1	1240,75	1240,75	41,15	0,000
Error	27	814,14	30,15		
Lack-of-Fit	26	779,85	29,99	0,87	0,705
Pure Error	1	34,28	34,28		
Total	28	2054,88			

Tablo 11. Modelin Özeti (Rüzgar Hız Ortalaması Bağımsız Değişkeni için)

Model Summary			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5,49120	60,38%	58,91%	52,30%

Kurulan bu modelin geçerliliğini göstermek için hatalar üzerindeki üç varsayımı sınamak gereklidir.

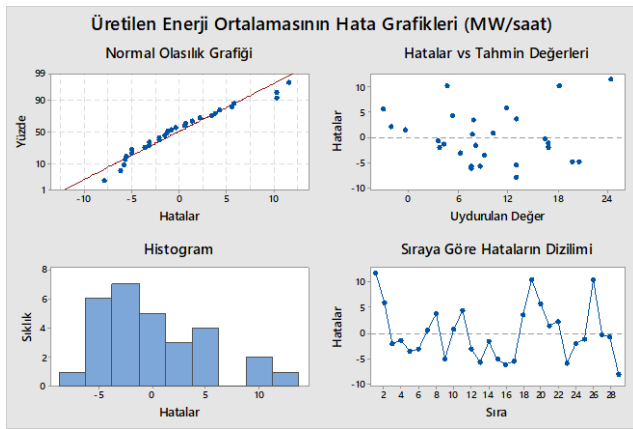
i) Hatalar (residual) Normal dağılmaktadır.

ii) Hatalar sabit varyanslıdır.

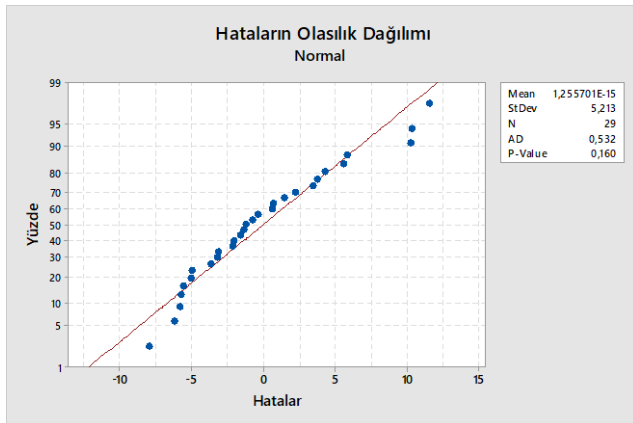
iii) Hatalar birbirinden bağımsızdır.

Üretilen Enerji ortalamasının rüzgar hızına bağlı olarak kurulan regresyon denkleminin hata grafikleri Şekil 8'de verilmiştir. Verilen hata grafikleri incelendiğinde hataların Normal dağıldığı, hataların sabit varyanslı olduğu ve hataların birbirinden bağımsız olduğu görülmektedir. Bu yüzden elde edilen regresyon denklemi rüzgar hızına bağlı olarak üretilen enerjiyi tahmin etmek için kullanılabilir.

Ayrıca hataların Normal dağılıma uyduğu normallik testi (Anderson Darling testi) yapılarak da belirlenmiş ve Şekil 9'da verilmiştir. Burada p-değeri=0,16 > 0,05 olduğundan "Hatalar Normal dağılıma uymaz" Ho hipotezi reddederek, hataların Normal dağıldığı tespit edilmiştir.



Şekil 8. Hata Grafikleri



Şekil 9. Hataların Normal Dağılım Testi

Buraya kadar bağımlı değişkenler ile "üretilen enerji ortalaması" arasında doğrusal ilişki araştırılmıştır. Çalışmanın bundan sonraki kısmında ise karesel ilişki analiz edilmiştir. Kurulan bu modelde, rüzgar hızı bağımsız değişkeninin karesi ile üretilen enerji ortalaması bağımlı değişkeni arasındaki ilişkiyi modelleyen regresyon denklemi oluşturulmuş ve sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Polinom model analiz sonuçlarına göre, bağımsız değişken rüzgar hız ortalamasının kareli terimi ile oluşturulan modelin $R^2(\text{adj})$ katsayısının %64,65'e çıktığı görülmüştür. Bu sonuç modelde yer alan rüzgar hız ortalamasının kareli teriminin R^2 değerini arttırdığı dolayısıyla kareli modelin gerçek değerleri daha iyi tahmin ettiği söylenebilir. Karesel modelin regresyon katsayıları ve $R^2(\text{adj})$ değeri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Polinom Regresyon Analizi-Kareli Model

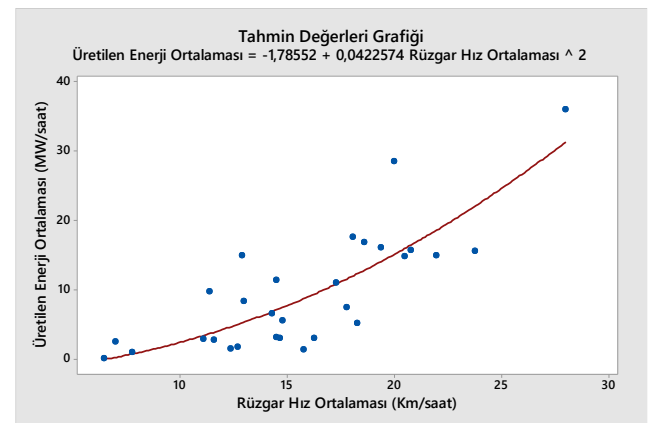
Polynomial Regression Analysis: Üretilen Enerji Ortalaması versus Rüzgar Hız Ortalaması	
The regression equation is	
Üretilen Enerji Ortalaması = -1,786 + 0,042 Rüzgar Hız Ortalaması ²	
S = 5,0899	R-Sq = 65,92% R-Sq(adj) = 64,65%

Tablo 13. Polinom Regresyon Analizi-ANOVA Tablosu-Kareli Model

Analysis of Variance				
Source	DF	SS	MS	F
P				
Regression	2	1371,27	685,637	26,08
Error	26	683,61	26,293	
Total	28	2054,88		

Tablo 13'de ise polinom regresyon analizinin varyans analizi gösterilmiştir. Regresyonun p-değeri < 0,05 olduğundan %95 güven seviyesinde kurulan kareli regresyon denklemi anlamlıdır ve rüzgar hızına bağlı olarak üretilen enerjinin tahmini için kullanılabilir.

Ayrıca kareli modelin grafiği de Şekil 10'da verilmiştir. Bu grafikten de görüleceği gibi doğrusal modele nazaran kurulan kareli model gerçek verilere daha iyi uyum göstermiştir.

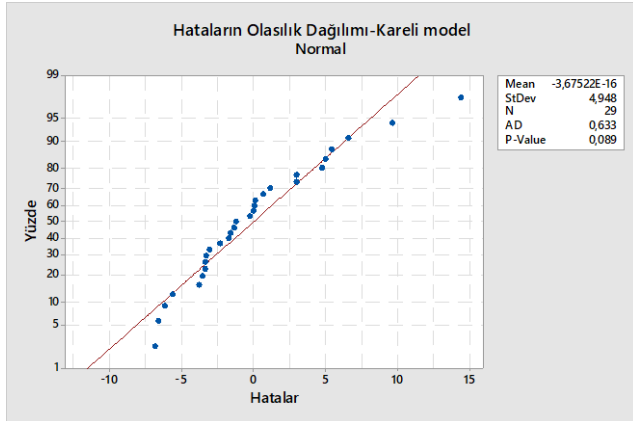


Şekil 10. Kareli Modelin Şekilsel Gösterimi

Şekil 11'de verilen grafikte ise kareli modelin hatalarının Normal dağılıma uyup uymadığı sınanmıştır. Burada p-değeri=0,089 > 0,05 olduğu için

hatalar %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak Normal Dağılıma uymaktadır.

Daha sonra, polinom dağılımlardan kübik model ile üretilen enerji ortalaması ve rüzgar hızı arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Kurulan bu modelde, rüzgar hızı bağımsız değişkeninin küpü ile üretilen enerji ortalaması bağımlı değişkeni arasındaki ilişkiyi modelleyen regresyon denklemi oluşturulmuş ve Tablo 14'de verilmiştir. Tablo 15'de ise regresyon modelinin ANOVA tablosu gösterilmiştir.



Şekil 11. Kareli Model için Hataların Normal Dağılım Testi

Tablo 14. Polinom Regresyon Analizi-Kübik Model

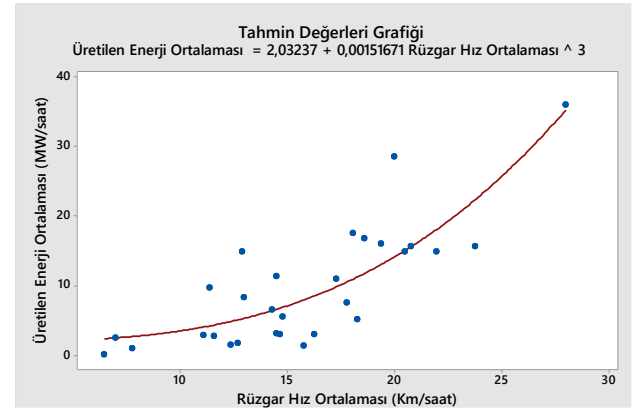
Polynomial Regression Analysis: Üretilen Enerji Ortalaması versus Rüzgar Hız Ortalaması	
The regression equation is	
Üretilen Enerji Ortalaması= 2,03237 + 0,00152 Rüzgar Hız Ortalaması ³	
S = 5,03895	R-Sq = 66,63% R-Sq(adj) = 65,39%

Tablo 15. Polinom Regresyon Analizi-ANOVA Tablosu - Kübik Model

Analysis of Variance				
Source	DF	SS	MS	F
P				
Regression	1	1369,33	1369,33	53,93
Error	27	685,55	25,39	
Total	28	2054,88		

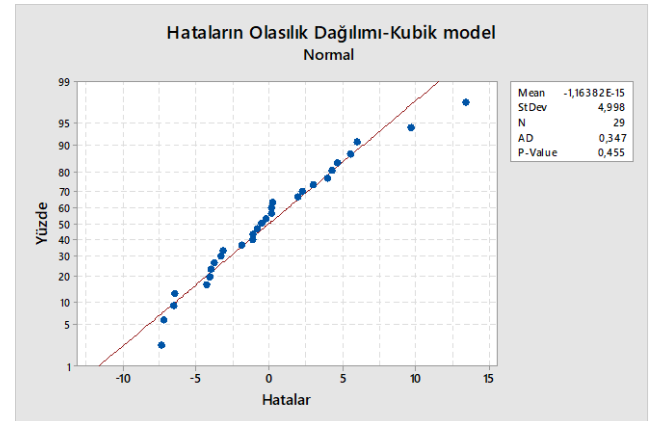
Tablo 14'de, $R^2(\text{adj})$ değeri %65,39 olarak bulunmuştur. Toplam değişkenliğin %65,39'u oluşturulan kübik model ile açıklanabilmektedir. Bu da kabul edilebilir bir değerdir. Tablo 15'deki $F=53,93$ değeri ve $p\text{-değeri}<0,05$ ile modelin %95 güven seviyesinde anlamlı olduğunu göstermektedir. Şekil-12'de oluşturulan kübik modelin grafiği verilmiştir. Bu

grafikten ve $R^2(\text{adj})$ değerlerinden de görüleceği gibi kübik model, kareli modele göre bir miktar daha iyi olacak şekilde gerçek verilere uyum göstermiştir.



Şekil 12. Kübik Modelin Şekilsel Gösterimi

Şekil 13'de verilen grafikte ise kübik modelin hatalarının Normal dağılıma uyup uymadığı sınanmıştır. Burada $p\text{-değeri}=0,455 > 0,05$ olduğu için hatalar %95 güven seviyesinde istatistiksel olarak Normal Dağılıma uymaktadır.



Şekil13. Kübik Model için Hataların Normal Dağılım Testi

5. Tartışma

Çalışmanın birincil önceliği olan rüzgar hızı ve hava koşullarının rüzgar enerji santralinde üretilen enerji miktarı ortalaması ile arasındaki ilişki hem korelasyon analizi hem de doğrusal ve polinom regresyon analizleri ile araştırılmıştır. Araştırmanın sonuçları istatistiksel olarak yorumlanmıştır. Öncesinde literatür taraması yapılmış, benzer makaleler incelendikten sonra araştırmada kullanılacak istatistiksel yöntemler belirlenmiştir. Seçilen pilot bölge ve santralden veriler elde edilmiştir. Santralden Ekim 2023 ayına ait saatlik ortalama üretim verisi MW/saat cinsinden elde edilmiştir. Bunların günlük ortalama değerleri

hesaplanmıştır. Santrale en yakın ilçeden hava raporu verileri toplanmıştır.

Öncelikle değişkenler arasındaki ilişki şekilsel olarak grafikler ile ve sayısal olarak pearson-korelasyon analizi ile ortaya konmuştur. Bu analizler sonucunda iki bağımsız değişken olan rüzgar hız ortalaması ve anlık esinti hızı arasında yüksek dereceden ilişki belirlenmiştir. Ayrıca bu iki değişkenin üretilen enerji ortalaması ile de yüksek dereceden pozitif yönde ilişkisi bulunduğu belirlenmiştir.

Sonrasında ise, değişkenler arası ilişkiler regresyon analizi ile araştırılmıştır. Kurulan matematiksel modelde bağımsız değişken olarak sıcaklık, nem, anlık esinti hızı ve ortalama rüzgar hızı; bağımlı değişken olarak da üretilen enerji miktarı ortalaması ele alınmıştır. Elde edilen veriler ile oluşturulan doğrusal regresyon analizinde sıcaklık, nem ve anlık esinti hızının üretilen enerji ortalaması üzerine etkisi olmadığı görülmüştür. Yapılan korelasyon analizinde bağımsız değişkenlerden anlık esinti hızı ve ortalama rüzgar hızı arasında kuvvetli ilişki (korelasyon katsayısı 0,777 ve p-değeri < 0,05) olması sebebiyle modelde sadece ortalama rüzgar hızı bağımsız değişkeni kullanılmıştır. Doğrusal modelin R^2 (adj) değeri %58,91 olarak bulunmuştur. İncelenen kareli modelde ise ortalama rüzgar hızının kareli terimi ile üretilen rüzgar enerjisi arasındaki ilişki incelenmiştir. Kareli modelin R^2 (adj) değeri %64,65 olarak bulunmuş ve bir artış olduğu tespit edilmiştir. Oluşturulan kareli modelde üretilen rüzgar enerjisindeki değişkenliğin %64,65'inin ortalama rüzgar hızının karesi tarafından açıklandığı, modelin "yüksek" derecede anlamlı olduğu söylenebilir. Ayrıca rüzgar hızının küplü terimi ile üretilen rüzgar enerjisi arasındaki ilişki de Tablo 14 - 15'de incelenmiştir. Oluşturulan küplü modelde üretilen rüzgar enerjisindeki değişkenliğin %65,39'unun ortalama rüzgar hızının küpü tarafından açıklandığı, modelin kareli modele göre bir miktar daha 'iyi' olduğu söylenebilir. Tablo 14'de verilen matematiksel model ile rüzgar hızına bağlı olarak üretilen enerji ortalamasını tahmin etmenin mümkün olduğu söylenebilir. Bu sonucun literatürde yer alan ve rüzgar enerjisini tahmin etmek için kullanılan matematiksel model ile de uyumlu olduğu görülmektedir. Literatürde verilen matematiksel denklem rüzgar hızının yanında hava yoğunluğunu, türbin kanatlarının süpürdüğü alanı ve türbin verimliliğini de dikkate almaktadır. Verilen teorik denklemde beklenen rüzgar enerjisinin rüzgar hızının küpü ile doğru orantıda olduğu görülmektedir (Karlı ve Geçit 2003).

6. Sonuçlar

Bu çalışma, Eskişehir bölgesinde bulunan Kartal RES (Rüzgar Enerji Santrali) için üretilen enerji miktarının, rüzgar hızı başta olmak üzere çeşitli hava koşulları ile

olan ilişkisini detaylı bir şekilde incelemiştir. Analiz sonuçları, rüzgar hızının üretilen enerji miktarı üzerindeki en önemli faktör olduğunu göstermektedir. Özellikle kübik regresyon modeli kullanılarak yapılan analizler, rüzgar hızının küpünün üretilen enerjiyi tahmin etmede en uygun model olduğunu ortaya koymuş ve bu model, toplam değişkenliğin %65,39'unu açıklayarak literatürde yer alan teorik modellerle uyumlu sonuçlar vermiştir. Bu güçlü ilişki, rüzgar enerjisi üretiminde doğru lokasyon seçiminin ve rüzgar hızı tahminlerinin ne kadar kritik olduğunu bir kez daha doğrulamaktadır. Diğer yandan, nem ve sıcaklık gibi diğer hava koşulları değişkenlerinin, üretilen enerji üzerinde anlamlı bir etkisi olmadığı görülmüştür. Bu sonuç, kısa vadeli analizlerde bu değişkenlerin etkisinin ihmal edilebilir düzeyde olduğunu göstermektedir. Ancak, farklı zaman dilimlerinde ve mevsimsel koşullarda yapılacak ileriye dönük çalışmalar, bu değişkenlerin etkilerini daha iyi anlamamıza yardımcı olabilir. Sonuç olarak, bu çalışma, rüzgar enerjisi üretiminde rüzgar hızının belirleyici rolünü vurgulamakta ve bu alanda daha derinlemesine araştırmalar yapılması gerektiğini önermektedir. Elde edilen bulgular, enerji politikalarının ve santral yerleşim stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını destekleyecektir.

Araştırmacıların Katkısı

Çisil TİMURALP, konunun tespiti, literatür araştırması, çalışmanın düzenlenmesi ve yorumlanması; Ege ERGİNEL; literatür araştırması, veri elde edilmesi, istatistiksel analizler ve yorumlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Ackermann T., Soder L. (2000). Wind energy technology and current status: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(4). doi: [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(00\)00004-6](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(00)00004-6)
- Ayar B., Gülten Yalçın Z., Dağ M., (2023). Harvesting the Wind: A Study on the Feasibility and Advancements of Wind Energy in Turkey. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Özel Sayı* 49, 43-49.
- Chen H., Wei S., Yang W., Liu S., (2023). Input wind speed forecasting for wind turbines based on spatio-temporal correlation, *Renewable Energy*, 216, November 2023, 119075. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119075>

- Cheng, K.W.E., Lin, J.K., Bao Y.J. ve Xue X.D., (2009). Review of the wind energy generating system, 8th International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management Sempozyumunda Sunulmuş Bildiri, Hong Kong, Çin. doi: <https://doi.org/10.1049/cp.2009.1863>
- Dündar, C., Dokuyucu, K., Oğuz, K. ve Bacanlı, H.,(2011) Kısa süreli rüzgar enerjisi tahmini, VI. Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumunda Sunulmuş Bildiri, Kayseri, Türkiye.
- EPDK, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, (2024). Elektrik Piyasası Aylık Sektör Raporu. <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-0-23/aylik-sektor-raporu>
Son erişim tarihi: 06/02/2024
- EPIAŞ, Enerji Piyasaları İşletme A.Ş., (2023). <https://seffaflik.epias.com.tr/transparency/uretim/gerceklesen-uretim/gercek-zamanli-uretim.xhtml>
Son erişim tarihi: 06/02/2024
- Foley A.M., Leahy P.G., Marvuglia A., McKeogh E.J. (2012). Current methods and advances in forecasting of wind power generation. *Renewable Energy*, 37(1). doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.05.033>
- Global Wind Energy Council. (2020). Global Wind Report 2020. <https://gwec.net/gwec-in-2020/>
Son erişim tarihi: 02/07/2024
- Herbert G.M.J., Iniyar S, Sreevalsan E, Rajapandian S., (2007). A review of wind energy technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(6). doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.08.004>
- Hines W. and Montgomery D.C. (1990). Probability and Statistics in Engineering and Management Science, Wiley & Sons Inc, ABD. [https://www.enerjiatlasi.com/ruzgar/kartalar-res.html](https://www.enerjiatlasi.com/ruzgar/kartalar/res.html)
Son erişim tarihi: 06/02/2024
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). Renewable Capacity Statistics 2020. <https://www.irena.org/publications/2020/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2020>
Son erişim tarihi: 02/07/2024
- Karlı V.M., Geçit C., 2003, An investigation on wind power potential of Nurdag'ı-Gaziantep, Turkey, *Renewable Energy* 28 (2003) 823-830. doi: [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(02\)00059-9](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(02)00059-9)
- Kusiak A., Zhang Z., Verma A., (2013). Prediction, operations, and condition monitoring in wind energy, *Energy*, 60 1-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2013.07.051>
- MINITAB 17 İstatistiksel paket Program
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2020). Elektrik Üretim İstatistikleri. <https://www.teias.gov.tr/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>
Son erişim tarihi: 02/07/2024
- T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. (2024). Elektrik Enerjisi <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-elektrik>
Son erişim tarihi: 02/07/2024
- Weather Query Builder, (31 Aralık 2023), <https://www.visualcrossing.com/weather/weather-data-services/University%20of%20Portsmouth/us/2023-12-31/2023-12-31>
- Weisser D., Garcia R. S. (2005). Instantaneous wind energy penetration in isolated electricity grids: concepts and review. *Renewable Energy*, 30(8). doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.10.002>
- Yanıktepe, B. ve Kara, O. (2021). Üç Farklı İstatistiksel Dağılım Yöntemleri Kullanarak Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Tahmin Edilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(2), 359-368. doi: <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.982775>
- Yıldırım, U., Gazibey, Y. ve Güngör, A. (2016). Niğde ili rüzgar enerjisi potansiyeli. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(1), 37-47. doi: <https://doi.org/10.28948/ngumuh.239392>

MAKİNE ÖĞRENMESİ İLE PAYLAŞIMLI BİSİKLET KULLANIMINA AİT TALEP TAHMİNİ: KONYA ÖRNEĞİ

Gözde CAN ATASAGUN^{1*}, Ece YAĞMUR²

¹ Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-4921-1557>

² Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Konya, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-5865-3483>

Anahtar Kelimeler	Öz
Paylaşımlı bisiklet sistemleri Makine öğrenmesi Yapay sinir ağları Rassal orman Talep tahmini	<i>Sürdürülebilirlik kavramının her geçen gün öneminin arttığı çağımızda geleneksel ulaşım araçlarının yerine çevreye daha duyarlı alternatif yöntemler araştırılmaktadır. Bu yenilikçi çözümlerden birisi karbon emisjonsuz ulaşımı sağlayan paylaşımlı bisiklet kullanımudur. Paylaşımlı bisiklet kullanımı, ulaşımında karbon ayak izini büyük ölçüde azaltmakta, ayrıca şehir içi trafik yoğunluğunu önleyerek çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Ekonomik açıdan uygun fiyatlı ve erişilebilir olması nedeniyle de sıklıkla tercih edilen paylaşımlı bisikletler son yıllarda pek çok ülkede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Paylaşımlı bisiklet sistemlerinden en yüksek faydayı sağlamak adına arz ve talep dengesi kurmak için etkin bir talep tahmin prosedürü geliştirilmelidir. Bu amaçla yapılan çalışmada Türkiye'nin en uzun bisiklet yoluna sahip olan Konya ilinde 2022-2023 yıllarına ait paylaşımlı bisiklet kullanım verileri incelenmiştir. Öncelikle verilere ait saatlik ve günlük bazda tanıttıcı istatistikler verilerek veriler özetlenmiş, ardından tahmin modellerinde kullanılan değişkenler tanımlanmıştır. Paylaşımlı bisiklet kullanımına olan talebin tahmininde Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR), Ridge Regresyon (RR), Elastik Net (EN), Rassal Orman (RO), Karar Ağaçları (KA), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. Geliştirilen günlük ve saatlik talep tahmin modelleri ve kullanılan makine öğrenme algoritmaları determinasyon katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama hata karesi (MSE) ve kök ortalama hata karesi (RMSE) performans ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Günlük verilerin değişken olarak kullanıldığı model, incelenen tüm performans ölçütlerine göre saatlik verilerin kullanıldığı modele göre üstünlük sağlamıştır. Algoritmalar karşılaştırıldığında saatlik veriler için en iyi performansa sahip teknik YSA iken, günlük veriler için ise en iyi performansı veren teknik RO olarak belirlenmiştir.</i>

DEMAND FORECASTING FOR BIKE SHARING SYSTEMS BY MACHINE LEARNING: A CASE STUDY IN KONYA

Keywords	Abstract
Bike-sharing systems Machine learning Artificial neural networks Random forest Demand forecasting	<i>As the concept of sustainability increases day by day, eco-friendly techniques are researched instead of traditional transportation vehicles. One of these innovative solutions is the bike-sharing system, which provides carbon-emission-free transportation. The system greatly reduces the carbon footprint and also contributes to environmental sustainability by preventing urban traffic congestion. Bike-sharing systems, which are frequently preferred because they are economically affordable and accessible, have been widely used in many countries recently. An effective demand forecasting procedure should be developed to balance supply and demand. In the study for this purpose, bike sharing data for the years 2022–2023 in Konya, which has the longest bicycle path in Turkey, is examined. First, the data are summarized with descriptive statistics on an hourly and daily basis, and then the variables used in the forecasting models are defined. Multiple Linear Regression (MLR), Ridge Regression (RR), Elastic Net (EN), Random Forest (RF), Decision Trees (DT), Support Vector Machines (SVM), and Artificial Neural Networks (ANN) are used to estimate the actual demand. The hourly and daily demand forecasting models and the machine learning algorithms used are compared according to the coefficient of determination (R^2), mean absolute error (MAE), mean square error (MSE), and root mean square error (RMSE). The model in which daily data is used is superior to the hourly model in all performance measures examined. When the algorithms are compared, the best technique for the hourly model is found to be ANN, while it is determined to be RF for the daily model.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 02.05.2024	Submission Date : 02.05.2024
Kabul Tarihi : 23.08.2024	Accepted Date : 23.08.2024

* Sorumlu yazar: gcatasagun@ktun.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1477372>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Hızlı kentselleşme neticesinde tüm dünyada şehirler hava ve su kirliliği, trafik sıkışıklığı, temel hizmetlere erişim sorunları gibi pek çok problemle karşı karşıya kalmaktadır. Artan kentsel dinamikler ve çevresel problemler sonucunda şehirler, yenilenebilir enerji kullanımı, ekolojik yatırımlar, sürdürülebilir şehir planlama gibi çevre yönetimini önceliklendiren politikalar benimsemektedir. Özellikle kentsel ulaşım dünya çapında şehirlerin sürdürülebilirliğinin şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Şehir merkezlerinde fosil yakıtla çalışan araçların yaygın bir şekilde kullanımı pek çok çevresel problemi beraberinde getirerek sürdürülebilirliği olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu nedenle ulaşım altyapısı sağlanırken toplu taşıma odaklı planlamaların yapılması, halk sağlığı açısından bisiklet, scooter gibi araçların kullanıldığı aktif ulaşımın teşvik edilmesi, elektrikli araç kullanımının artırılması gibi uygulamalar tüm dünyada hızla hayata geçirilmektedir. Böylece şehir içi ulaşım sistemlerinde etkinliğin ve verimliliğin sağlanarak araçların birbiri ile rekabet etmeden ve birbirini tamamlayarak işletilebilmesi, toplu taşıma, yaya ve bisiklet sistemlerinin bir bütün olarak planlanması ile mümkün olacağı fikri benimsenmeye başlanmıştır (Candan, 2003; Karagöz, 2019). Bu strateji dahilinde öne çıkan uygulamalardan birisi paylaşımlı bisiklet kullanımıdır. Paylaşımlı bisikletler kısa mesafeler için uygun ve esnek bir ulaşım aracı olup kişisel araçlara olan bağımlılığı azaltarak şehir merkezlerindeki trafik yoğunluğunu büyük ölçüde azaltmaktadır. Ayrıca sıfır emisyonla ulaşımı sağlayarak hava kalitesi ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunmakta ve aktif bir ulaşım aracı olduğundan kullanıcıların fiziksel hareketliliğine katkıda bulunarak halk sağlığını olumlu yönde etkilemektedir. Literatürde üçüncü nesil bisiklet paylaşım sistemi olarak da adlandırılan paylaşımlı bisiklet sistemleri için geliştirilen mobilite uygulamaları kullanıcılara geleneksel ulaşım araçlarına kıyasla daha fazla esneklik sunmaktadır. Kullanıcılar yakındaki bisiklet ve scooterlara akıllı telefon uygulamaları ile kolayca erişim sağlayabilmektedir. Özellikle kısa mesafeli kullanımlar için oldukça uygun fiyatlı olması ve bireysel araçları olmayan veya toplu taşıma araçlarına erişimi kısıtlı olan bireyler için erişilebilir olması nedeniyle de paylaşımlı bisikletler sıklıkla tercih edilmektedir.

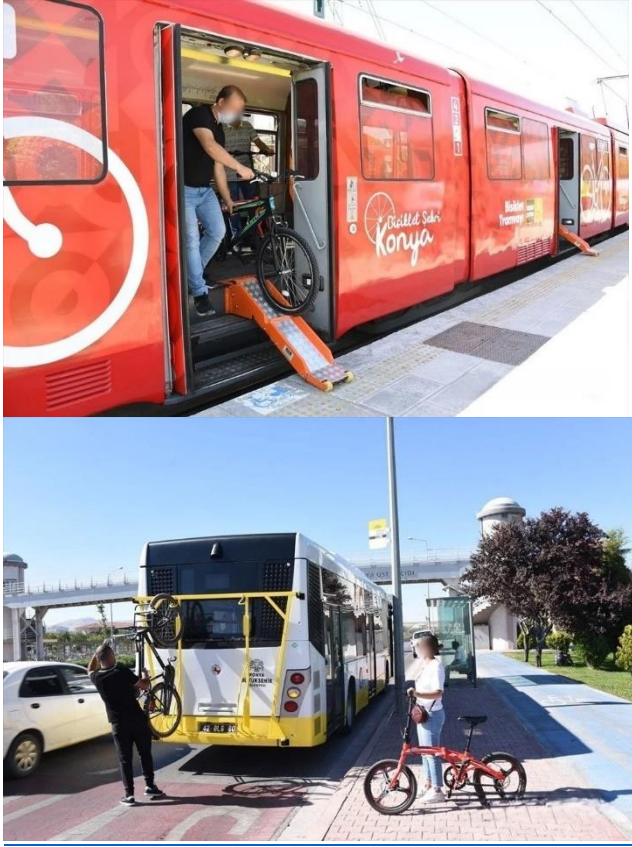
Pek çok ülkede paylaşımlı bisiklet kullanımını teşvik etmek ve bu konuda farkındalık yaratmak için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Paylaşımlı bisiklet sistemi ilk olarak 1998'de Rennes'te kullanılmaya başlanmış, 2000 yılında Münih'te, 2005 yılında Lyon'da ve 2007 yılında Paris'te büyük bir kullanım oranına ulaşmıştır (Midgley ve Affairs, 2011; Shaheen, Guzman ve Zhang, 2010). 2008 yılında Brezilya, Şili, Çin, Yeni Zelanda, Güney Kore, Tayvan ve ABD'de de uygulamaya alınmış,

sonrasında ise tüm dünyaya yayılmıştır (DeMaio, 2009; Madak ve Bardakçı, 2021; Pucher ve Buehler, 2008).

Türkiye'de de pek çok şehirde yerel yöneticiler tarafından desteklenen paylaşımlı bisiklet kullanımı için farklı uygulamalar geliştirilmiştir (Eren, Katanalp, Yıldırım ve Uz, 2018). Türkiye'nin yüzölçümü açısından en büyük şehri olan Konya'da da bisiklet kullanımını teşvik edecek pek çok uygulama mevcuttur. Şehrin topografik yapısı ve iklim koşulları düşünüldüğünde Konya ilinin büyük bir bölümü düze yakın bir arazi üzerinde olduğundan hem bireysel hem de paylaşımlı bisiklet kullanım oranının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. 580 kilometre ile Türkiye'nin en uzun bisiklet yoluna sahip olan şehirde yaklaşık 80 adet paylaşımlı bisiklet istasyonu mevcuttur. Bisiklet kullanıcılarının şehir içi ulaşımında sıkıntılar yaşamamasının önüne geçmek için şehir merkezinde kullanılan tramvay ve otobüslerde de bisiklet sürücüleri düşünülerek iyileştirmeler yapılmıştır. Bisiklet tramvayı ve otobüslere eklenen bisiklet taşıma aparatları ile bisiklet sürücülerinin bisikletleri ile seyahat etmeleri mümkün kılınmıştır. Şekil 1'de Konya'da kullanılan bisiklet tramvayı ve bisiklet taşınabilen otobüsler görülmektedir.

Paylaşımlı bisiklet kullanımına hızla artan ilgi sonucunda sisteme yönelik talebin hızlı ve doğru bir şekilde tahmin edilmesi oldukça önemli bir konu haline gelmiştir. İşletmelerin talebi doğru bir şekilde tahmin etmesi bisikletler, bağlantı istasyonları ve bakım ekipleri gibi kaynakların daha verimli bir şekilde kullanılmasına olanak sağlar. İşletmeler sistemin dinamik yapısı gereğince dalgalanan talep karşısında etkin bir talep yönetimi ile bisikletlerin doğru yerde ve zamanda kullanılabilir olmasını sağlayabilir. Böylelikle müşteri ihtiyaçları zamanında karşılanmış olduğundan müşteri memnuniyeti de artırılmış olur. Ayrıca talebin doğru tahmin edilmesi ile işletmeler kendi operasyonel süreçlerini iyileştirebilir ve gelecek dönemler için planlama yapabilirler. Örneğin, bisikletlerin kullanım şekillerini ve hangi bölgede daha çok ihtiyaç duyulduğunu analiz ederek talebin çok olduğu bölgelere bisikletleri taşıyabilir ya da talep dalgalanmalarına karşı fiyat politikalarını güncelleyebilir böylelikle satışlarını ve karlarını artırabilirler. Tüm bu avantajları düşünüldüğünde paylaşımlı bisiklet kullanım sistemleri için etkin bir talep tahmin prosedürünün geliştirilmesi önem arz etmektedir.

Makine öğrenimi, bilgisayarların verilere dayalı öğrenme ile tahminler yapmasını sağlayan yapay zekanın bir alt alanıdır. Bu nedenle literatürde pek çok farklı alanda talep tahmini için makine öğrenme algoritmalarından sıklıkla yararlanılmıştır. Bu modellerin verilerdeki karmaşık kalıpları kolaylıkla keşfederek geleneksel istatistiksel yöntemlere göre daha iyi performans gösterdiği pek çok çalışmada kanıtlanmıştır.



Şekil 1. Bisiklet Tramvayı ve Bisiklet Taşınabilen Otobüs (NTV, 2020)

Yapılan çalışmada Türkiye'deki en uzun bisiklet yoluna sahip olan Konya ilinde 2022-2023 yıllarına ait paylaşımlı bisiklet kullanım verileri incelenerek talep tahmini için hem günlük hem de saatlik bazda tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla Türkiye'deki paylaşımlı bisiklet sistemleri için bu zamana kadar yapılmış en kapsamlı çalışma bu çalışmadır. Ayrıca literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak veri setinde bisikletlerin alınıp bırakıldığı istasyon bilgileri de kullanılmıştır. Paylaşımlı bisiklet kullanımına olan talebin tahmininde Çoklu Doğrusal Regresyon (ÇDR), Ridge Regresyon (RR), Elastik Net (EN), Rassal Orman (RO), Karar Ağaçları (KA), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve Yapay Sinir Ağları (YSA) kullanılmıştır. Bu yöntemler Türkiye'deki paylaşımlı bisiklet sistemlerinde henüz kullanılmamış yöntemlerdir. Geliştirilen günlük ve saatlik talep tahmin modelleri ve kullanılan makine öğrenme algoritmaları farklı performans ölçütlerine göre değerlendirilmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki bölümleri şu şekilde özetlenmiştir: İkinci bölümde paylaşımlı bisiklet sistemleri ile ilgili literatürdeki çalışmalar ele alınmıştır. Üçüncü bölümde verilen materyal ve metot bölümü, veri seti ile talep tahmin algoritmaları olarak iki alt başlıkta incelenmiştir. Dördüncü bölümde algoritmalar sonucunda elde edilen karşılaştırmalı sonuçlar

yorumlanmıştır. Son bölümde ise genel bulgulardan bahsedilerek geleceğe yönelik değerlendirmeler yapılmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Paylaşımlı bisiklet sistemleri ile ilgili literatürde pek çok çalışma mevcuttur. DeMaio (2009) yapmış olduğu çalışmada paylaşımlı bisiklet sistemlerinin kronolojik gelişimini incelemiştir. Çalışmada literatürde yer alan bisiklet paylaşım yaklaşımlarının avantaj ve dezavantajları ortaya konularak sermaye ve işletme maliyetlerinin durumu değerlendirilmiştir. Shaheen ve diğ. (2010)'nın yapmış olduğu çalışmada Avrupa, Amerika ve Asya'daki bisiklet paylaşım sistemlerinin mevcut durumu incelenerek gelecekte yapılması planlanan yenilikler araştırılmıştır. Lorasokkay ve Ağırdır (2011), Konya'da bulunan bisiklet kullanıcıları ile yapmış oldukları anketler vasıtasıyla kullanıcıların bisiklet kullanımlarındaki şikâyet ve önerilerini incelemiş ve şehir içi ulaşımda bisiklet kullanımının artırılarak ulaşımın iyileştirilmesini amaçlamışlardır. Shaheen, Cohen ve Martin (2013) Amerika Birleşik Devletleri'nde ve Kanada'da faaliyet gösteren paylaşımlı bisiklet kullanıcılarını kapsayan ankete dayalı bir araştırma yapmış ve Kuzey Amerika'daki bisiklet paylaşım yaklaşımının büyüme potansiyelini incelemişlerdir. Fishman, Washington ve Haworth (2013)'ün yapmış oldukları çalışmada bisiklet paylaşım sistemlerine ilişkin bir literatür taraması sunulmuş, programların kullanıcı motivasyonlarına ve bisiklet sahibi olma eğilimlerine etkileri araştırılmıştır. Zhao, Deng ve Song (2014) tarafından yapılan çalışmada Çin'deki 69 adet bisiklet paylaşım noktası temel alınmış, kentsel özelliklerin ve sistem karakteristiklerinin bisiklet paylaşım sisteminin günlük kullanımı ve devir hızı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bordagaray, Dell'Olio, Fonzone ve Ibeas (2016) paylaşımlı bisiklet sistemindeki akıllı kart işlemlerinin kullanım potansiyelini incelemişler ve bisiklet kullanım verilerini analiz ederek çevrimdışı bir veri madenciliği prosedürü önermişlerdir. Morton (2018) tarafından Londra'daki paylaşımlı bisiklet sistemi ile ilgili yapılan çalışmada üyelerin hizmet kalitesini nasıl algıladığına, genel memnuniyet düzeylerine, üyeliklerini yenileme eğilimlerine ve programı başkalarına tavsiye etme isteklerine odaklanılmıştır. Ayrıca üyelerin deneyimleri göz önüne alınarak sistemin başarısı için yeni stratejiler önerilmiştir. Zhao, Zhang, Banks ve Xiong (2018) yapmış oldukları çalışmada Çin'deki paylaşımlı bisiklet sistemlerinin tarihsel gelişim aşamalarını ve bu süreçlerdeki mevcut sorunları ele alarak bu sorunlara alternatif çözüm önerileri sunmuşlardır. Jahanshahi, Van Wee ve Kharazmi (2019) İran'ın Mashhad kentinde ülkenin ilk paylaşımlı bisiklet sistemini ve bu sistemin kabul edilebilirliğini etkileyen faktörleri incelemişlerdir. Çalışmada sosyo-kültürel, ekonomik, altyapı ve sistem işlevi gibi faktörler, 134 kullanıcının

katılımıyla analiz edilmiştir. Araştırma, sistemin genellikle gençler, öğrenciler, düşük gelirli bireyler ve araç sahibi olmayan kişiler tarafından kullanıldığını ortaya koymuştur. Si, Shi, Wu, Chen ve Zhao (2019) 2010 ve 2018 yılları arasında bisiklet paylaşım sistemi ile ilgili araştırmaları haritalandırmış ve bu yıllardaki eğilimleri ve katkıları raporlamışlardır. Zhang, Meng, Koh ve Wong (2021) dünya çapında 106 şehirden elde edilen verileri kullanarak paylaşımlı bisiklet sistemlerinin faaliyet süresini etkileyen faktörleri incelemiştir. Çalışmada altyapı, sosyal faktörler ve ekonomik faktörler gibi unsurlar genelleştirilmiş ve bir doğrusal model kullanılarak analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda, kapsama alanı, sistem kapasitesi, ödeme türü, finansal destek ve kişi başına satın alma gücü gibi unsurların sistemin sürdürülebilirliğini etkileyen temel faktörler olduğu belirtilmiştir.

Lin, He ve Peeta (2018) yapmış oldukları çalışmada istasyon düzeyinde saatlik talebi tahmin etmek amacıyla bir YSA yaklaşımı önermiş ve modelin farklı mimarilerini incelemiştir. Xu, Ji ve Liu (2018) tarafından yapılan çalışmada istasyonsuz paylaşımlı bisiklet sistemleri incelenerek bu sistemlerdeki bisiklet paylaşımına ait hareketlilik modelleri analiz edilmiş ve dinamik talep tahmini yapmak için derin öğrenme teknikleri kullanılmıştır. Mekânsal ve zamansal analizler yapılarak elde edilen bulgular, Uzun-Kısa Süreli Bellekli (UKSB) sinir ağlarının farklı zaman aralıklarında paylaşımlı bisiklet seyahatlerini tahmin etmede etkili olduğunu göstermektedir. McBain ve Caulfield (2018) İrlanda'da faaliyet gösteren bir paylaşımlı bisiklet sistemini ele almış ve seyahat sürelerindeki değişkenlikleri incelemiştir. Yapılan çalışmada 2015 ve 2016 yılına ait veriler analiz edilerek seyahat sürelerindeki varyasyonu etkileyen mekânsal ve zamansal faktörler belirlenmeye çalışılmıştır. Wang ve Kim (2018) UKSB, Geçitli Tekrarlayan Birimler (GTB) ve RO algoritmalarını kullanarak bisiklet istasyonlarındaki bisiklet sayılarını tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Eğitim süresi açısından RO algoritması daha avantajlı olmasına rağmen uzun vadeli tahminler için UKSB'nin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Pan, Zheng, Zhang ve Yao (2019) paylaşımlı bisiklet talebini tahmin etmek için gerçek zamanlı bir yöntem önermişler ve geçmiş veriler, hava durumu verileri ve zaman verilerine dayanarak bisiklet taleplerini belirlemeyi amaçlamışlardır. Seul'deki paylaşımlı bisiklet kullanımını etkileyen faktörler Sathishkumar, Park ve Cho (2020) tarafından analiz edilmiş, sıcaklık, saat, hava koşulları ve kiralanan bisiklet sayısı arasındaki ilişkiler anlamlı bulunmuştur. Tahmin için önemli özellikleri seçmek üzere Boruta algoritması ve RO algoritması kullanılmış, ardından regresyon modelleri eğitilip değerlendirilmiştir. Sathishkumar ve Yongyun (2020) tarafından yapılan bir diğer çalışmada paylaşımlı bisiklet talep tahmini için kurala dayalı bir regresyon tahmin modeli sunulmuştur. İki farklı veri

seti için beş farklı istatistiksel model kullanılarak veri setlerinin eğitimi ve değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Kural tabanlı modelin, her iki veri setinde de yüksek tahmin performansı gösterdiği belirtilmiştir. Ayrıca değişken önem analizi sonucunda sıcaklık ve saatin en etkili değişkenler olduğu vurgulanmıştır. Chibwe, Heydari, Imani, Scurtu (2021) Londra'daki bisiklet paylaşım sistemini ele almış ve Ocak 2012'den Haziran 2020'ye kadar olan günlük bisiklet kiralama sayılarındaki eğilimi incelemiştir. Hava durumu, zamansal faktörler ve istasyonların sayısı gibi değişkenler de analize dahil edilmiştir. Jiang (2022) yapmış olduğu çalışmada bisiklet paylaşım sistemlerinde kullanılan derin öğrenme modellerini incelemiş ve bu konuda geniş bir literatür araştırması sunmuştur. Derin öğrenmenin, bisiklet paylaşımı kullanımlarının tahmininde başarılı sonuçlar elde etme konusunda büyük bir avantaj sağladığı belirtilmiştir. Bu çalışma derin öğrenme teknikleriyle paylaşımlı bisiklet kullanımı tahmini için gerçekleştirilen ilk çalışmadır. Ergül Aydın, İçmen Erdem ve Erzurum Çiçek (2023) yapmış oldukları çalışmada paylaşımlı bisiklet kullanımındaki talebi tahmin etmek için gradyan artırma yöntemlerini kullanmışlardır. XGBoost, LightGBM ve CatBoost yöntemlerini Konya ve Washington, D.C. veri setlerine uygulamışlardır. İleri (2024), Güney Kore'de yer alan bir istasyondan 2017 ve 2018 yılları arasında gerçekleşen saatlik bisiklet kiralama sayılarını mevsim bazında incelemiş ve tahmin için Yarasal Algoritması ile optimize edilen Gradyan Artırma Makinesi yöntemini önermiştir. Önerilen yöntemin performansı aynı veri setini inceleyen Sathishkumar ve Yongyun (2024)'ün çalışmasında kullandıkları yöntemlere göre daha başarılı bulunmuştur.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde birçok çalışmada paylaşımlı bisiklet sistemlerinin kullanımı ile ilgili genel bilgiler verildiği ve kullanımı etkileyen faktörlerin incelendiği söylenebilir. Aynı şekilde paylaşımlı bisiklet sürecinin tarihsel gelişimi ve gelecekteki durumu ile ilgili yapılan çalışmalar da mevcuttur. Paylaşımlı bisiklet kullanımına ait talep tahmini ile ilgili yapılan çalışmalarda ise pek çok farklı metod uygulanmış ve etkin sonuçlar elde edilmiştir. Literatürdeki çalışmaların çoğunda şehir nüfusunun oldukça yoğun, talebin de oldukça dinamik olduğu Seul ve New York'ta yer alan paylaşımlı bisiklet sistemi verileri kullanılmış ve analiz edilmiştir. Türkiye'de paylaşımlı bisiklet sistemi uygulamalarına olan talep de sağladıkları avantajlar göz önünde bulundurulduğunda her geçen gün artmaktadır. Uygulamada sıklıkla kullanılmasına rağmen bu alanda literatürde yapılan çalışmalar oldukça sınırlı sayıda olup Türkiye'de paylaşımlı bisiklet talebine yönelik olarak gerçekleştirilen tek çalışmanın yalnızca Ergül Aydın ve diğ. (2023) tarafından yapılmış olan çalışma olduğu görülmüştür. Bu çalışmada Konya ilindeki paylaşımlı

bisiklet sistemi ele alınmış ve 2022 yılının son üç ayına ait bisiklet verileri kullanılmıştır.

Yapmış olduğumuz bu çalışmada Konya'daki paylaşımlı bisiklet sistemi ele alınmış olup 2022 ve 2023 yılına ait Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından yayımlanan veriler analiz edilmiştir. Analizler hem saatlik hem de günlük olarak değerlendirilmiş ve farklı performans ölçütlerine göre ayrıntılı olarak sunulmuştur. Ayrıca talebi etkilediği düşünülen meteorolojik veriler ile zamana ait kategorik veriler ve bisiklet istasyonlarından elde edilen lokasyon bilgilerine göre kullanım mesafesi ve kullanım süreleri de tahmin modeline dahil edilmiştir. Tüm bu yönleriyle bildiğimiz kadarıyla yapılan bu çalışma Türkiye'deki paylaşımlı bisiklet sistemini ele alan en kapsamlı çalışmadır.

3. Materyal ve Metot

Bu bölüm veri setinin incelenmesi ve kullanılan talep tahmini algoritmaları olmak üzere iki alt başlıkta incelenmiştir. Çalışmanın her aşamasında araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti için Konya Büyükşehir Belediyesi (2023) tarafından farklı alanlarda verilerin paylaşıldığı açık veri portalından yararlanılmıştır. Belirtilen web sitesinden 01.01.2022-13.12.2023 tarih aralığına ait paylaşımlı bisiklet kullanım verileri (<https://acikveri.konya.bel.tr/dataset/kiralik-bisiklet-kullanim-verileri>) (Konya Açık Veri Portalı, 2024)) alınmıştır. Ayrıca paylaşımlı bisiklet istasyonlarına ait konum bilgileri de <https://aarbike.com.tr/istasyonlar/> web sitesinde yer almaktadır (AAR Bike, 2024). Belirtilen tarih aralığındaki meteorolojik veriler için ise "Python Meteosat" kütüphanesi kullanılmıştır. Belirtilen kütüphane kullanılarak meteorolojik veriler için belirli bir döneme ait saatlik, günlük, haftalık, aylık ve yıllık olmak üzere farklı periyotlarda veriler raporlanabilmektedir.

Paylaşımlı bisiklet verileri ilgili web sitesinde saatlik olarak raporlanmış, ancak yapılan çalışmada bu veriler hem saatlik hem de günlük bazda ele alınmıştır. Bu nedenle meteorolojik veriler de ilgili kütüphaneden hem saatlik hem de günlük bazda çekilmiştir. Bisiklet talebine ait saatlik ve günlük bazda kiralanan bisiklet sayılarına ait önemli tanıtıcı istatistik değerleri Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de görüldüğü üzere bisiklet kiralama sayıları saatlik olarak ele alındığı zaman toplam 12767 adet veri mevcut iken günlük olarak 703 adet veri mevcuttur. Ortalama kiralanan bisiklet sayısı saatlik olarak yaklaşık 11 adet iken bu sayı günlük veri setinde yaklaşık olarak 196 dettir. Bir saat diliminde en fazla 119 adet bisiklet kiralılırken günlük olarak en fazla 722 adet bisiklet kiralınmıştır. Bunun yanı sıra her bir veri seti için birinci dördül (%25), medyan (%50) ve

üçüncü dördül (%75) değerleri ile standart sapma değerleri de verilmiştir.

Tablo 1. Bisiklet Talebine Ait Veriler

	Saatlik Kiralanan Bisiklet Sayısı	Günlük Kiralanan Bisiklet Sayısı
Veri	12767	703
Ortalama	10,79	195,93
Standart Sapma	11,95	143,81
En Küçük	1	1
%25	3	79,50
%50	7	191
%75	15	269
En Büyük	119	722

Tablo 2'de Saatlik veri seti (S_Veri) ve Günlük veri seti (G_Veri)'nde kullanılan değişkenler ve tipleri açıklanmıştır. Tablo 2'de görüldüğü üzere veri seti çok sayıda değişken içermektedir. Değişkenlerin tipi (D_Tipi) kategorik (Kat.) ve nümerik (Nüm.) olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca bu değişkenlerin birçoğu kategorize edilerek anlamlı hale getirilmiştir. Yapılan çalışmada literatürde yer alan çalışmalardan farklı olarak istasyon bilgileri de kullanılmıştır. Kullanım mesafesi kategorik veri olarak tanımlanmış olup öncelikle bisikletin alınıp bırakıldığı istasyonlar belirlenerek bu istasyonlar arasındaki mesafe Haversine uzaklık formülü ile hesaplanmıştır. Ardından bu mesafeler çok yakın, yakın, orta, uzak ve çok uzak olmak üzere beş kategoriye ayrılmıştır. Kullanım süresi ise nümerik bir değişken olup bisikletin alındığı zamandan bırakıldığı zamana kadar geçen sürenin dakika cinsinden ölçümü olarak elde edilmiştir. Saatlik ve günlük veriye dönüşüm yapılırken ilgili periyotlarda kiralanan bisiklet sayısına göre ortalama değerler alınmıştır.

Günlük ve saatlik veriler için korelasyon matrisi sırasıyla Şekil 2 ve 3'te gösterilmiştir. Korelasyon matrisleri "Dython" kütüphanesi kullanılarak oluşturulmuştur. Korelasyon matrisi için renkler açıldıkça ilişkilerin arttığı söylenebilir. Buna göre Şekil 2'de gösterilen saatlik veriler için korelasyon matrisi incelendiğinde bisiklet sayısının en çok "saat", "saat dilimi" ve "ay" değişkenleri ile ilişkili olduğu söylenebilir. Şekil 3'te gösterilen günlük veriler için korelasyon matrisinde ise kullanılan bisiklet sayısının en çok "sıcaklık" (en büyük, en küçük ve ortalama sıcaklık), "ay" ve "mevsim" değişkenleri ile ilişkili olduğu görülmektedir.

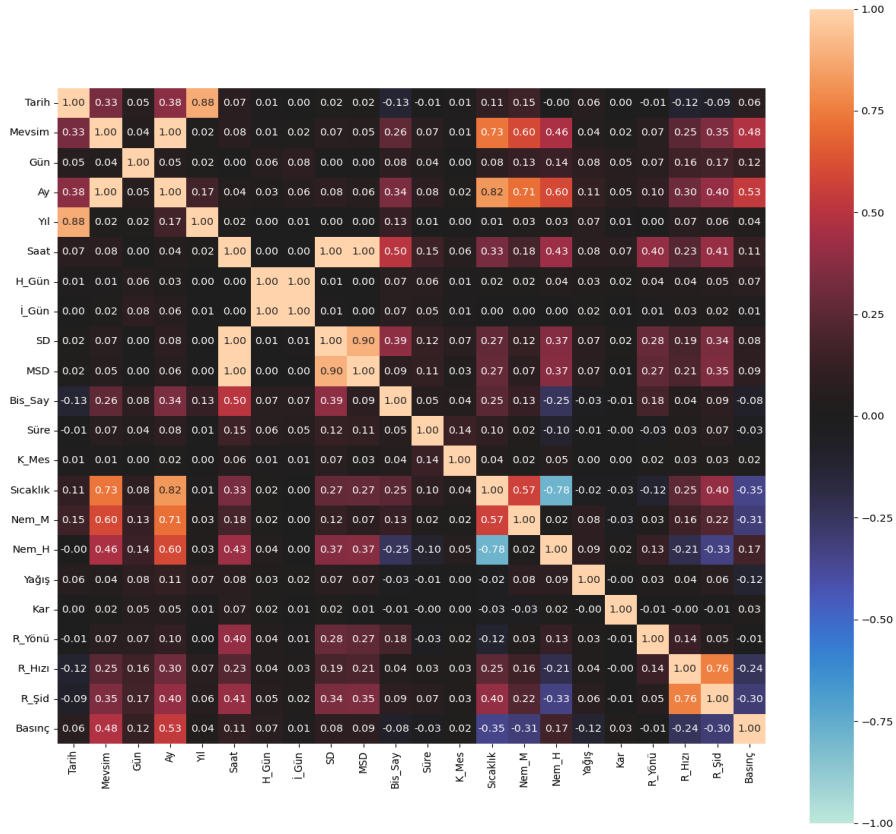
Şekil 4 ve Şekil 5'te sırasıyla saatlik ve günlük veriler için bisiklet talep ortalamasının farklı kategorilere göre değişkenliğini gözlemlemek için kutu diyagramları verilmiştir. Şekil 4'e göre paylaşımlı bisiklet talebi en fazla yaz, en az kış mevsiminde gerçekleşmektedir. Benzer şekilde Mayıs, Haziran ve Temmuz, bisiklet

kullanım talebinin en yoğun olduğu aylar olup Nisan ayında uç değerlerin fazla olduğu görülmektedir. Talebin yoğun olduğu saatler, saat bazında akşam saatleri olup saat dilimi bazında ise 16:00-00:00 arasındadır. Son olarak bisikletlerin genellikle çok yakın mesafeler için tercih edildiği söylenebilir.

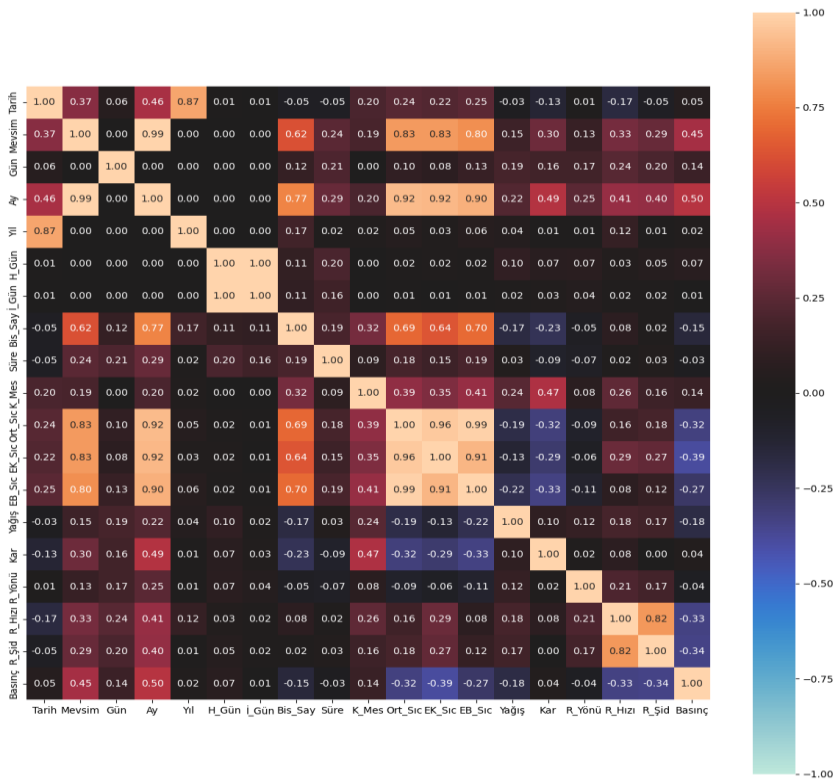
Günlük veriler için hazırlanan kutu diyagramı incelendiğinde ise kategori etkileri daha net bir şekilde görülürken uç değerlerin de saatlik verilere göre azaldığı söylenebilir. Şekil 5'e göre değişkenliğin en fazla olduğu mevsim İlkbahar iken talebin en fazla olduğu mevsim Yaz mevsimidir.

Tablo 2. Tahmin Modelinde Kullanılan Değişkenler

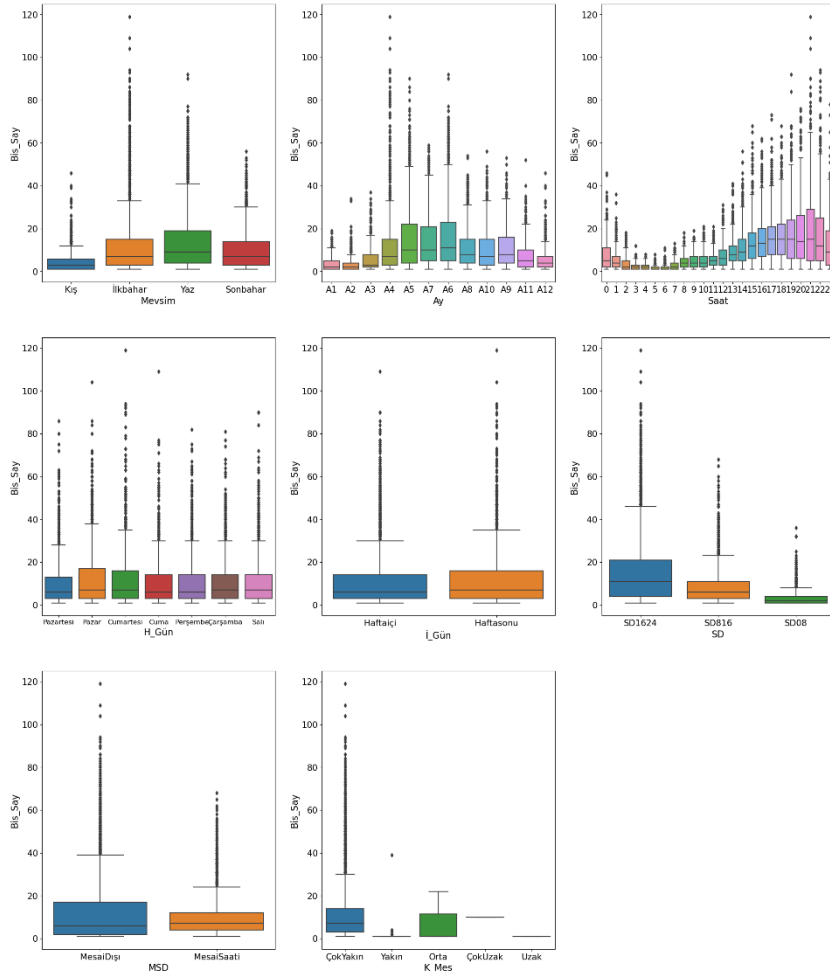
Değişken	D_Tipi	Açıklama	G_Veri	S_Veri
Mevsim	Kat.	1: Kış, 2: İlkbahar, 3: Yaz, 4: Sonbahar	✓	✓
Gün	Kat.	1-31	✓	✓
Ay	Kat.	1-12	✓	✓
Yıl	Kat.	1: 2022, 2: 2023	✓	✓
Haftanın Günleri (H_Gün)	Kat.	1: Pazartesi, 2: Salı, 3: Çarşamba, 4: Perşembe, 5: Cuma, 6: Cumartesi, 7: Pazar	✓	✓
İş Günü (İ_Gün)	Kat.	1: Hafta sonu, 2: Hafta içi	✓	✓
Saat Dilimi (SD)	Kat.	1: 00:00-08:00, 2: 08:00-16:00, 3: 16:00-00:00	×	✓
Mesai Saat Dilimi (MSD)	Kat.	1: Mesai dışı (17:00-08:00), 2: Mesai Saati (08:00-17:00)	×	✓
Kullanım Mesafesi (K_Mes)	Kat.	1: Çok Yakın, 2: Yakın, 3: Orta, 4: Uzak, 5: Çok Uzak	✓	✓
Saat	Kat.	0-23	×	✓
Sıcaklık	Nüm.	Ölçülen sıcaklık değeri	✓	✓
Nem (Humidity) (Nem_H)	Nüm.	Havadaki ölçülen su buharı miktarı	×	✓
Nem (Moisture) (Nem_M)	Nüm.	Belli bir hacim hava içindeki ölçülen buhar	×	✓
Yağış	Nüm.	Ölçülen yağış miktarı	✓	✓
Kar	Nüm.	Ölçülen kar miktarı	✓	✓
Rüzgâr Yönü (R_Yönü)	Nüm.	Belirlenen rüzgâr yönü	✓	✓
Rüzgâr Hızı (R_Hızı)	Nüm.	Ölçülen rüzgâr hızı	✓	✓
Rüzgâr Şiddeti (R_Şid)	Nüm.	Ölçülen rüzgâr şiddeti	✓	✓
Atmosferik Basınç	Nüm.	Ölçülen atmosferik basınç	✓	✓
Kullanma Süresi	Nüm.	Kiralanan bisikletin kullanım süresi	✓	✓
Kullanılan Bisiklet Sayısı (Bis_Say)	Nüm.	Kiralanan bisiklet sayısı	✓	✓



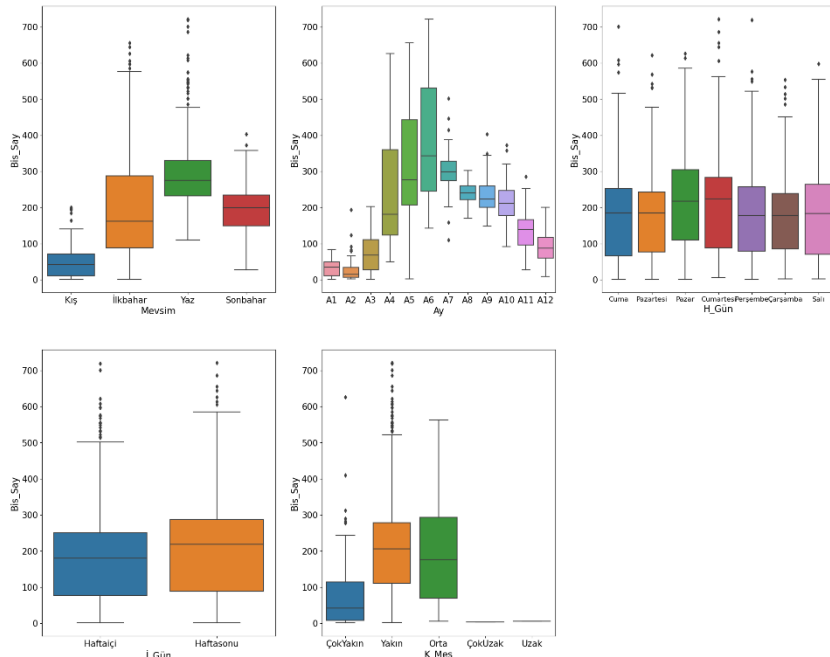
Şekil 2. Saatlik Veriler için Korelasyon Matrisi



Şekil 3. Günlük Veriler için Korelasyon Matrisi



Şekil 4. Saatlik Veriler için Kutu Diyagramı



Şekil 5. Günlük Veriler için Kutu Diyagramı

Talebin en yoğun olduğu aylar ise Nisan, Mayıs ve Haziran ayları iken en az olduğu ay Şubat'tır. İş günü kategorisine göre talebin hafta sonu daha yoğun olduğu söylenebilir. Yakın mesafe bisiklet kullanımının günlük veriler için daha fazla olduğu görülmektedir.

3.2. Talep Tahmini Algoritmaları

Tahmin algoritmaları uygulanmadan önce veriler kullanıma uygun hale getirilmelidir. Literatürde verilerin işlenmesi olarak ele alınan bu aşamada yapılan işlemler şu şekilde özetlenebilir: Makine öğrenmesinde kullanılan algoritmalar değişkenlerin ölççeklerine duyarlı olabilir. Bu nedenle veriler "sklearn" kütüphanesinde yer alan "MinMaxScaler" ile normleştirilmiştir.

Algoritmalarda kullanılacak değişkenler belirlenirken Özyinelemeli Özellik Seçimi (ÖÖS), algoritmasından yararlanılmıştır. Bu teknik makine öğrenimi algoritmalarında kullanılan ve modelin performansını artırmak için en uygun öznitelik kümesini belirlemek amacıyla kullanılır. ÖÖS algoritması, başlangıçta tüm özelliklerin bir modelde eğitilmesiyle başlar. Daha sonra, her bir özellik için, modelin performansını etkileyen özelliklerin belirlenmesinde kullanılacak olan bir önem puanı hesaplanır. En düşük önem puanına sahip olan özellikler birer birer çıkarılarak model yeniden eğitilir. Belirli bir kriter veya sınır değeri (örneğin, belirli bir sayıda özellik veya bir performans ölçütü) sağlanana kadar süreç devam eder. Bu süreç sonunda, en uygun özelliklerden oluşan bir özellik kümesi elde edilir. ÖÖS, modelin karmaşıklığını azaltarak aşırı uyum (overfitting) riskini azaltmaya yardımcı olur ve modelin genelleme yeteneğini artırabilir. ÖÖS algoritması, ÇDR için uygulanmış ve algoritma ile saatlik veriler için 93 adet öznitelikten 29 adet, günlük veriler içinse 67 adet öznitelikten 20 adet öznitelik seçilmiştir. Seçilen öznitelikler tüm algoritmalar için aynen kullanılmış böylelikle algoritmaların etkinliğinin ölçülmesi amaçlanmıştır. Seçilen özniteliklerin hangileri olduğu Ek 1'de verilmiştir. Verilerin işlenmesi adımından sonra, veriler %70'i eğitim ve %30'u test verisi olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Eğitim verileri modelin eğitilmesi aşamasında kullanılırken, test verileri ise geliştirilen modelin performansını değerlendirmek için kullanılır.

Makine öğrenmesinde kullanılan algoritmaların performansı problemin yapısı, veri özellikleri ve veri boyutuna göre farklılık göstermektedir. Çalışma kapsamında kullanılan yöntemler aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

Çoklu Doğrusal Regresyon: En basit makine öğrenme tekniğidir ve bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki neden-sonuç ilişkisini matematiksel olarak ortaya koyar. Doğrusal regresyonda model parametreleri "En Küçük Kareler Yöntemi"ne göre belirlenmektedir. Temel amaç, modelin tahmin ettiği değerler ile gerçek

gözlemler arasındaki farkın karelerinin toplamını (hata kareler toplamını) enküçüklemektir.

Ridge Regresyon: Hoerl ve Kennard (1970) tarafından geliştirilen RR, hata kareler toplamını enküçükleyen eden katsayıları, bu katsayılara bir ceza uygulayarak bulmaktadır. RR ilgisiz değişkenleri çıkarmadan sadece katsayılarını sıfıra yaklaştırarak, tüm değişkenler ile model kurar. Böylece model, katsayıların büyük değerler almasını önleyerek daha dengeli hale gelir.

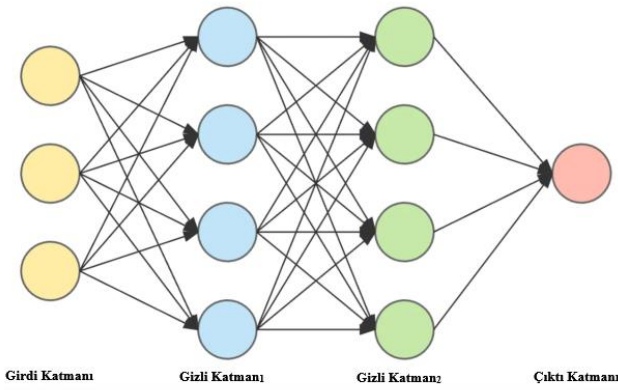
Elastik Net: Zou ve Hastie (2005) tarafından önerilmiştir. RR tarzı cezalandırma ve Lasso regresyon tarzı değişken seçimi yaparak her iki düzenlemenin zayıf yönlerini dengelemekte böylece daha esnek bir model sunmaktadır. Özellikle yüksek boyutlu veri setlerinde ve birçok değişkenin olduğu durumlarda kullanışlıdır.

Karar Ağaçları: Hem sınıflandırma hem de regresyon modelleri için kullanılan ve ağaç yapısı şeklinde ifade edilen bir yöntemdir. Bu yapı düğümler, dallar ve yapraklardan oluşmaktadır. Ağaçta yer alan her bir düğüm bir karar noktasını, her dal bir karar kuralını ve her yaprak ise hedef değişkenin tahmin değerini ifade etmektedir. KA algoritması, veri setindeki değişkenleri ve hedef değişkeni analiz eder ve en uygun karar kuralını belirleyen ağacı oluşturur. Ayrıca uç değerlere karşı duyarlı olmadığından uç değerlerin çok olduğu veri setleri için kullanışlıdır.

Rassal Orman Algoritması: İçeriğinde birden fazla karar ağacı kullanılan ve her karar ağacı için öğrenme sonuçlarının entegre edildiği bir yöntemdir. Her bir karar ağacı, ana veri setinden rassal örneklemeler alınarak oluşturulan farklı alt veri setiyle eğitilmektedir. Yöntemin doğruluğu ormanın büyüklüğü ile bireysel ağaçların gücü ve korelasyonuna bağlıdır. Çok sayıda verinin bulunduğu ve birçok değişkenin kullanıldığı veri setleri için avantajlıdır.

Destek Vektör Makineleri: DVM istatistiksel öğrenme teorisinden gelen yapısal risk minimizasyonu ilkesine dayanan bir yöntemdir. Yapısal risk minimizasyonunun amacı, görünmeyen ve rastgele seçilmiş bir test örneğindeki gerçek hatayı azaltmaktır.

Yapay Sinir Ağları: Biyolojik sinir ağlarının sinir hücrelerinden oluşması gibi, YSA da birbiriyle bağlantılı çok sayıda yapay sinir hücresinden meydana gelmektedir. Bu nedenle biyolojik sinir hücrelerinin sanal bir modeli olarak düşünülebilir. Büyük miktarda veri üzerinde karmaşık desenler bulma ve belirli görevleri gerçekleştirme yeteneğine sahip bir dizi matematiksel modelden oluşan YSA'ya ait bir mimari örneği Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Bir YSA'nın Mimarisi

Bir YSA, birbirinden bağımsız olarak bir girdi katmanı, bir çıktı katmanı ve en az bir tane gizli katmandan oluşmaktadır. Her katman birbirinden farklı sayıda düğüme sahip olabilir. Girdi katmanında bilgiler alınarak gizli katmana aktarılmakta, gizli katmanda ise bu bilgiler işlenerek çıktı katmanına iletilmektedir. YSA'da yer alan gizli katmanlar ve bu katmanlardaki düğüm (nöron) sayıları problem yapısına göre değişiklik gösterebilir.

4. Deneysel Çalışmalar

Çalışmada kullanılan yöntemlere ilişkin hiperparametre değerleri Tablo 3'te verilmiştir. Bu çalışma kapsamına hiperparametreler için bir optimizasyon çalışması dahil edilmemiş ancak pilot koşullarla parametrelerin farklı seviyeleri değerlendirilerek Tablo 3'teki değerler belirlenmiştir.

Geliştirilen modeller determinasyon katsayısı (R^2), ortalama mutlak hata (MAE), ortalama hata karesi (MSE) ve ortalama hata karesi kökü (RMSE) performans ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Bu performans ölçütleri aşağıda tanımlanmıştır.

- Determinasyon katsayısı: bağımlı değişkendeki (y) değişkenliğin ne kadarının bağımsız değişkenlerdeki (x) değişkenlikle açıklanabildiğini ifade eder. R^2 0 ile 1 arasında bir değer alır ve 1'e yaklaştıkça, modelin veriler üzerindeki uyumu artar.
- Ortalama Mutlak Hata: MAE, her tahminin mutlak değerli hatasının yani model tahmini ile hedef değer arasındaki mutlak farkın ortalamasını verir.
- Ortalama Hata Karesi: MSE model tahmini ile hedef değer arasındaki farkların karelerinin ortalamasını verir. MAE, hatanın mutlak değerlerini alırken, MSE hatanın karelerini alır. Bu nedenle, MSE büyük hatalara daha duyarlıdır.
- Kök Ortalama Hata Karesi: RMSE, MSE'nin karekökü alınarak elde edilir. Hem hatanın büyüklüğünü hem de hataların varyansını dikkate aldığı için modelin performansını değerlendirmede faydalı bir araçtır.

Tablo 3. Algoritmaların Hiperparametre Değerleri

Algoritma	Hiperparametre	Değer
Ridge Regresyon	α solver	1 auto
Elastik Net	α l1_ratio	0,001 0,300
Karar Ağaçları	maksimum derinlik	10
	En küçük örnek sayısı (iç düğüm)	5
	En büyük yaprak düğüm sayısı	40
	splitter	best
Rassal Orman	Ağaç sayısı	150
	Maksimum özellik	auto
	Maksimum derinlik	none
Destek Vektör Makineleri	C (Ceza Parametresi)	1
	ϵ (Sapma için eşik değer)	0,100
	γ (Yayımla parametresi)	0,100
	Kernel fonksiyonu	"rbf" (Radyal tabanlı çekirdek fonksiyonu)
Yapay Sinir Ağları	Küme boyutu	10
	Girdi katmandaki düğüm sayısı	15
	Çıktı katmandaki düğüm sayısı	1
	Aktivasyon fonksiyonu	ReLU (Doğrultulmuş doğrusal birimler)
	Kayıp fonksiyonu	MSE
	Optimizatör	adam (adaptif moment tahmini)
	Epochs	100

y_i : i . gözlemin hedef değeri; \hat{y}_i : i . gözlemin tahmin edilen değeri; \bar{y} : hedef değerlerin ortalaması, n : örneklem büyüklüğü ve e_i : i . gözleme ilişkin hata ve $e_i = y_i - \hat{y}_i$ olmak üzere, Eşitlik (1)-(4)'te performans ölçütlerini hesaplamak için kullanılan formülasyonlar verilmiştir.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |e_i| \quad (2)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2 \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (4)$$

Performans ölçütleri kullanılarak yapılan yöntemlerin karşılaştırmaları Tablo 4'te verilmiştir.

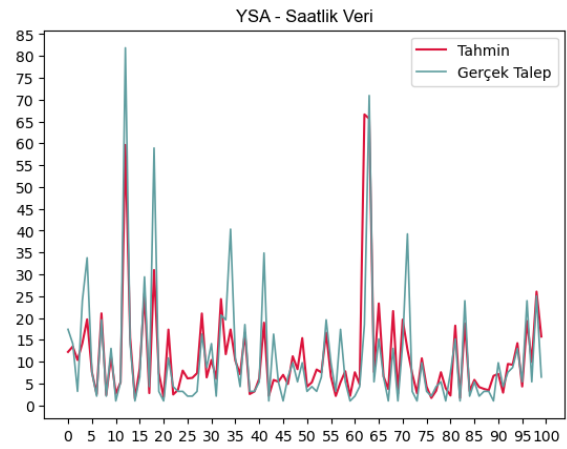
Elde edilen veriler hem saatlik hem de günlük olarak analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Buna göre saatlik olarak elde edilen verilerde R^2 değeri en yüksek olan model 0,67 ile YSA yöntemidir. En düşük R^2 değeri ise 0,43 ile EN yöntemi ile elde edilmiştir. MAE, MSE ve RMSE değerleri açısından ise bu değerler tüm modellerde birbirine çok yakın olmakla birlikte yine YSA yönteminde en düşük değerlere ulaşılmıştır.

Tablo 4. Yöntemlerin Karşılaştırılması

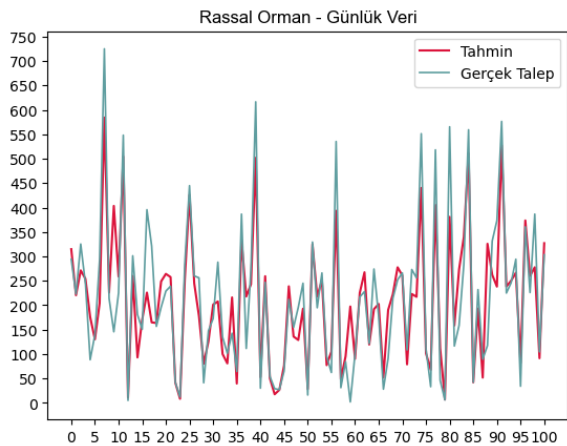
Modeller	Performans Ölçütleri	Saatlik Veri	Günlük Veri
Çoklu Doğrusal Regresyon	R^2	0,450	0,780
	MAE	0,054	0,079
	MSE	0,006	0,012
	RMSE	0,079	0,109
Ridge Regresyon	R^2	0,450	0,680
	MAE	0,054	0,082
	MSE	0,006	0,013
	RMSE	0,079	0,116
Elastik Net	R^2	0,430	0,690
	MAE	0,055	0,080
	MSE	0,006	0,013
	RMSE	0,080	0,114
Karar Ağaçları	R^2	0,540	0,660
	MAE	0,046	0,075
	MSE	0,005	0,014
	RMSE	0,071	0,119
Rassal Orman	R^2	0,640	0,810
	MAE	0,041	0,060
	MSE	0,004	0,008
	RMSE	0,064	0,090
Destek Vektör Makineleri	R^2	0,600	0,770
	MAE	0,050	0,071
	MSE	0,005	0,010
	RMSE	0,067	0,099
Yapay Sinir Ağları	R^2	0,670	0,780
	MAE	0,039	0,067
	MSE	0,004	0,009
	RMSE	0,061	0,096

Günlük veriler için elde edilen sonuçlara göre, R^2 değeri en yüksek olan model RO yöntemidir. ÇDR ve YSA ise 0,78 R^2 değeri ile RO modeline çok yakın sonuçlar elde etmişlerdir. En düşük performans ise KA yöntemine aittir. MAE, MSE ve RMSE sonuçlarına göre de en iyi sonuçlar RO ile elde edildiğinden günlük veriler için en iyi performansın RO yöntemi ile elde edildiği söylenebilir.

Şekil 7 ve 8 'de sırasıyla saatlik ve günlük veriler için en iyi performansın elde edildiği YSA ve RO algoritmaları ile rassal olarak seçilen 100 adet test verisi için elde edilen tahmin değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 7 ve 8'e göre, grafikteki örtüşmeler değerlendirildiğinde her iki yöntem için de gerçekleşen talep ile tahmin edilen talebin birbirlerine çok yakın olduğu söylenebilir.



Şekil 7. Saatlik Veri YSA Algoritması Tahmin Performansı



Şekil 8. Günlük Veri Rassal Orman Algoritması Tahmin Performansı

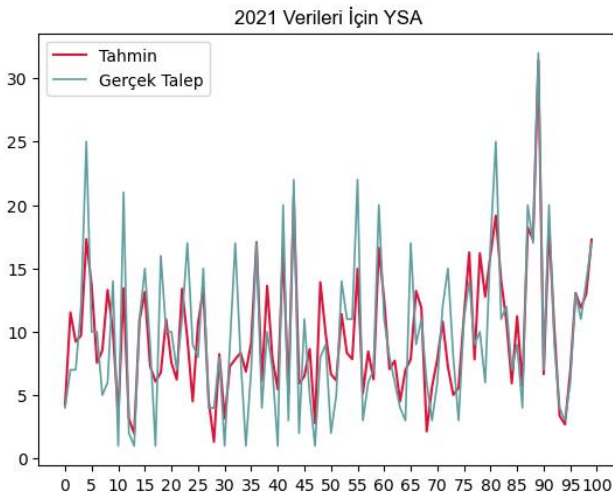
Ergül Aydın ve diğ. (2023) tarafından yapılan çalışmada 2021 yılı Ekim, Kasım ve Aralık aylarında paylaşımlı bisiklet talep verileri kullanılarak XGBoost, LightGBM ve CatBoost yöntemleri ile elde edilen tahmin sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlerde performansı en

iyi yöntem CatBoost yöntemi olup R^2 değeri 0,66 olarak elde edilmiştir. Yazarlar veri setini saatlik bazda ele aldıklarından bu çalışmada saatlik veriler için en iyi sonucun elde edildiği YSA algoritması aynı veri setine uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5'te raporlanmıştır. ÖÖS yöntemi ile bu veri seti için hangi özneliklerin kullanıldığı ise Ek 2'de verilmiştir.

Tablo 5. 2021 Verileri için Karşılaştırma

Modeller	Performans Ölçütleri	Saatlik Veri
	R^2	0,6564
CatBoost (Ergül Aydın ve diğ. (2023))	MAE	1,3966
	MSE	6,3267
	RMSE	0,2889
	R^2	0,6793
YSA Algoritması	MAE	0,0864
	MSE	0,0128
	RMSE	0,1130

Tablo 5'te görüldüğü üzere YSA algoritması ile CatBoost algoritmasından tüm performans ölçütleri için daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 9'da 2021 yılı verileri kullanılarak rassal olarak seçilen 100 adet test verisi için YSA ile elde edilen tahmin değerleri ile gerçek talep değerleri karşılaştırılmıştır. Grafikteki örtüşmeler değerlendirildiğinde özellikle test verilerinin genelinde gerçekleşen talep ile tahmin edilen talebin birbirlerine çok yakın olduğu söylenebilir.



Şekil 9. 2021 Verileri için YSA Algoritması Tahmin Performansı

5. Sonuçlar ve Tartışma

Paylaşımlı bisiklet sistemleri tüm Dünya'da yaygın olarak kullanılmakta olup literatürde bu konuda pek çok çalışma yapılmıştır. Türkiye'de ise paylaşımlı bisikletlere ait ilginin her geçen gün arttığı ancak yapılan çalışmaların henüz oldukça sınırlı olduğu görülmüştür.

Paylaşımlı bisiklet sistemlerinde hangi bölgelere bisiklet istasyonu kurulacağı, hangi istasyonda ne kadar bisiklet olması gerektiği gibi konular kaynakların verimli kullanılması ve müşteri memnuniyeti açısından oldukça önemlidir. Bir istasyonda talep edilenden çok daha fazla bisiklet bulundurulması başka bir istasyonda gerekli sayıda bisikletin bulunmamasına sebep olabilir. Ayrıca müşteriler sistemin sürekliliği garanti edilmedikçe paylaşımlı bisiklet kullanımından kaçınılmaktadırlar. Sistem sağlayıcıları için hangi dönemlerde hangi istasyonlardaki bisikletlerin servis ve bakım ihtiyacı olacağı da oldukça önemlidir. Belirli istasyonlardaki talep artışının belirlenmesi bakım planlamasını kolaylaştırmakta ve bisikletlerin sürekli kullanılabilir hale getirilmesinin sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Tüm bu süreçten en yüksek düzeyde yararlanabilmek adına sürecin etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, talep tahmini konusu paylaşımlı bisiklet sistemlerinin hem kullanıcıları hem de yöneticileri açısından oldukça kritik bir öneme sahiptir. Doğru talep tahmini, sistemin büyümesi veya iyileştirilmesi için yapılan yatırım kararlarını da etkilemektedir. Bu çalışmada Türkiye'nin en uzun bisiklet yoluna sahip olan Konya ilinde kullanılmakta olan paylaşımlı bisiklet sistemleri incelenmiş ve detaylı bir talep tahmin prosedürü gerçekleştirilmiştir. Bildiğimiz kadarıyla Türkiye'deki paylaşımlı bisiklet sistemleri için bu zamana kadar yapılmış en kapsamlı çalışma bu çalışmadır. Çalışmada Konya Büyükşehir Belediyesi tarafından paylaşılan 01.01.2022-13.12.2023 tarih aralığına ait paylaşımlı bisiklet kullanım verileri kullanılmıştır. Bu veri seti hem saatlik hem de günlük olarak analiz edilmiştir. Verilerin işlenmesi aşamasında nümerik değişkenler normleştirilmiş, ayrıca değişken seçimi ile modele katkısı olmayan ve model karmaşıklığını artıran bazı değişkenler modelden çıkarılmıştır. Talep tahmininde ÇDR, RR, EN, RO, KA, DVM ve YSA yöntemleri kullanılmıştır. Geliştirilen yıllık ve saatlik talep tahmin modelleri ve kullanılan makine öğrenme algoritmaları farklı performans ölçütlerine göre karşılaştırılmıştır. Buna göre saatlik veriler için talep tahmininde en iyi sonuçlar YSA ile elde edilirken, günlük veriler için RO'nun daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. Geliştirilen tahmin modelleri ile saatlik veriler için R^2 değeri 0,67 ve günlük veriler için de R^2 değeri 0,81 olarak elde edilmiştir. Buna göre günlük modelde bisiklet talebine ait değişkenliğin yaklaşık %80'inin kullanılan bağımsız değişkenlerdeki değişkenlik ile açıklanabildiği söylenebilir.

Büyük verilerin analizinde basit istatistiksel analizlerin performansı kısıtlı olacağından, yapılan çalışmada makine öğrenmesi teknolojilerinden yararlanılarak hem güncel bir konu ele alınmış hem de gerçeğe yakın tahminlerin yapılması sağlanmıştır.

Yapılan çalışmada veri setinde paylaşılan bilgilerin tümü değişken olarak anlamlı bir şekilde kullanılmaya

çalışılmıştır. Bu veri seti Türkiye’de bisiklet paylaşımına ait paylaşılan en kapsamlı veri setlerinden birisidir. Buna karşın çalışmanın bazı sınırlandırmaları bulunmaktadır. Özellikle kullanıcılara ait yaş, cinsiyet gibi kişisel özellikler anonim yapıda verildiğinden analize dahil edilememiştir. Bunun dışında bisiklet istasyonları hastane, üniversite, alışveriş merkezleri gibi halkın yoğun olduğu bölgelere yakınlıklarına göre analiz edilerek istasyonların hangi alanlarda kurulmasının işletmeler açısından daha faydalı olacağı araştırılabilir. Bir başka çalışmada toplu taşıma ve paylaşımlı bisiklet maliyetleri dikkate alınarak farklı ulaşım türlerine olan talep yoğunlukları karşılaştırılabilir. Gelecekte yapılması planlanan çalışmalarda Türkiye’de paylaşımlı bisiklet sistemini kullanan tüm iller için aynı ya da farklı talep tahmin yöntemleri ve performans ölçütleri kullanılarak çalışma genişletilebilir. Ayrıca farklı algoritma parametreleri de ayrıntılı bir şekilde incelenebilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Gözde CAN ATASAGUN, verilerin analizi, kaynak araştırması, istatistiksel analizler, makalenin ve sonuçlarının oluşturulması; Ece YAĞMUR, verilerin analizi, kavramsal tasarım, istatistiksel analizler, makalenin ve sonuçlarının oluşturulması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- AAR Bike. Erişim Adresi: <https://aarbike.com.tr/istasyonlar/> (Erişim Tarihi: 09.01.2024)
- Bordagaray, M., Dell’Olio, L., Fonzone, A., & Ibeas, Á., (2016). Capturing the conditions that introduce systematic variation in bike-sharing travel behavior using data mining techniques. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 71, 231-248. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.07.009>
- Candan, S. (2003). Ulaşım sistemlerinin bütünleştirilmesi açısından Ankara uygulamalarının değerlendirilmesi ve geliştirme önerileri (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Chibwe, J., Heydari, S., Imani, A. F., & Scurtu, A. (2021). An exploratory analysis of the trend in the demand for the London bike-sharing system: From London Olympics to Covid-19 pandemic. *Sustainable Cities and Society*, 69, 102871. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102871>

- DeMaio, P. (2009). Bike-sharing: History, impacts, models of provision, and future. *Journal of Public Transportation*, 12(4), 41-56. <http://doi.org/10.5038/2375-0901.12.4.3>
- Eren, E., Katanalp, B. Y., Yıldırım, Z. B. ve Uz, V. E. (2018). Türkiye’deki bisiklet paylaşım programları, SETSCI-Conference Proceedings, 1507-1513.
- Ergül Aydın, Z., İçmen Erdem, B., & Erzurum Çiçek, Z. I. (2023). Prediction bike-sharing demand with gradient boosting methods. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 29(8), 824-832. <https://doi.org/10.5505/pajes.2023.39959>
- Fishman, E., Washington, S., & Haworth, N. (2013). Bike share: a synthesis of the literature. *Transport Reviews*, 33(2), 148-165. <https://doi.org/10.1080/01441647.2013.775612>
- Hoerl, A. E. & Kennard, R. W. (1970). Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, 12(1), 55-67. <https://doi.org/10.1080/00401706.1970.10488634>
- İleri, K. (2024). Yarasa algoritması ile optimize edilmiş GBM modeli kullanarak mevsim bazlı bisiklet kiralama sayılarının tahmini. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 39(4), 2631-2642. <https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1362302>
- Jahanshahi, D., Van Wee, B., & Kharazmi, O. A. (2019). Investigating factors affecting bicycle sharing system acceptability in a developing country: The case of Mashhad, Iran. *Case Studies on Transport Policy*, 7(2), 239-249. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2019.03.002>
- Jiang, W. (2022). Bike sharing usage prediction with deep learning: A survey. *Neural Computing Applications*, 34(18), 15369-15385. <https://doi.org/10.1007/s00521-022-07380-5>
- Karagöz, B. (2019). Yerel yöneticilerin bisiklet ulaşımına bakış açısı: Konya örneği (Yüksek Lisans Tezi). Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Konya Açık Veri Portalı. Erişim Adresi: <https://acikveri.konya.bel.tr/dataset/kiralik-bisiklet-kullanim-verileri> (Erişim Tarihi: 09.01.2024)
- Lin, L., He, Z., & Peeta, S. (2018). Predicting station-level hourly demand in a large-scale bike-sharing network: A graph convolutional neural network approach. *Transportation Research Part C: Emerging*

- Technologies, 97, 258-276.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.10.011>
- Lorasokkay, M. A. ve Ağırdir, M. L. (2011). Konya kentçi ulaşımında bisiklet. *Engineering Sciences*, 6(4), 870-881. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/186142>
- Madak, N. ve Bardakçı, A. (2021). İstasyonsuz bisiklet paylaşım sistemlerinin yükselişi ve düşüşü üzerine. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 8(2), 668-689. <https://doi.org/10.47097/piar.1026156>
- McBain, C. & Caulfield, B. (2018). An analysis of the factors influencing journey time variation in the cork public bike system. *Sustainable Cities and Society*, 42, 641-649. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.030>
- Midgley, P. & Affairs, S. (2011). Bicycle-sharing schemes: enhancing sustainable mobility in urban areas. *United Nations, Department of Economic*, 8, 1-12.
- Morton, C. (2018). Appraising the market for bicycle sharing schemes: Perceived service quality, satisfaction, and behavioural intention in London. *Case Studies on Transport Policy*, 6(1), 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2017.11.003>
- NTV. Konya'da sadece bisikletliler için tasarlanan tramvay yolculuğa başladı. (2020). Erişim Adresi: https://www.ntv.com.tr/galeri/seyahat/konyada-sadece-bisikletliler-icin-tasarlanan-tramvay-yolculuga-basladi,o2C70nJLvUm812BHRrCBtA/Ne04gVqc70yTU9R_tseSuA (Erişim Tarihi: 25.12.2023)
- Pan, Y., Zheng, R. C. Zhang, J., & Yao, X., (2019). Predicting bike sharing demand using recurrent neural networks. *Procedia Computer Science*, 147, 562-566. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.217>
- Pucher, J. & Buehler, R. (2008). Cycling for everyone: lessons from Europe. *Transportation Research Record*, 2074(1), 58-65. <https://doi.org/10.3141/2074-08>
- Sathishkumar, V. E., Park, J., & Cho, Y. (2020). Using data mining techniques for bike sharing demand prediction in metropolitan city. *Computer Communications*, 153, 353-366. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2020.02.007>
- Sathishkumar, V. E. & Yongyun, C. (2020). A rule-based model for Seoul bike sharing demand prediction using weather data. *European Journal of Remote Sensing*, 53(sup1), 166-183. <https://doi.org/10.1080/22797254.2020.1725789>
- Sathishkumar, V. E. & Yongyun, C. (2024). Season wise bike sharing demand analysis using random forest algorithm. *Computational Intelligence*, 40(1), e12287. <https://doi.org/10.1111/coin.12287>
- Shaheen, S. A., Cohen, A. P., & Martin, E. W. (2013). Public bikesharing in North America: Early operator understanding and emerging trends. *Transportation Research Record*, 2387(1), 83-92. <https://doi.org/10.3141/2387-10>
- Shaheen, S. A., Guzman, S., & Zhang, H. (2010). Bikesharing in Europe, the Americas, and Asia: Past, present, and future. *Transportation Research Record*, 2143 (1), 159-167. <https://doi.org/10.3141/2143-20>
- Si, H., Shi, J.-g., Wu, G., Chen, J., & Zhao, X. (2019). Mapping the bike sharing research published from 2010 to 2018: A scientometric review. *Journal of Cleaner Production*, 213, 415-427. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.157>
- Wang, B. & Kim, I. (2018). Short-term prediction for bike-sharing service using machine learning. *Transportation Research Procedia*, 34, 171-178. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.11.029>
- Xu, C., Ji, J., & Liu, P. (2018). The station-free sharing bike demand forecasting with a deep learning approach and large-scale datasets. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 95, 47-60. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2018.07.013>
- Zhang, J., Meng, M., Koh, P. P., & Wong, Y. D. (2021). Life duration of bike sharing systems. *Case Studies on Transport Policy*, 9(2), 674-680. <https://doi.org/10.1016/j.cstp.2021.03.005>
- Zhao, J., Deng, W., & Song, Y. (2014). Ridership and effectiveness of bikesharing: The effects of urban features and system characteristics on daily use and turnover rate of public bikes in China. *Transport Policy*, 35, 253-264. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.06.008>
- Zhao, N., Zhang, X., Banks, M. S., & Xiong, M. (2018). Bicycle sharing in China: Past, present, and future. *SAIS 2018 Proceedings*, 11.
- Zou, H. & Hastie, T. (2005). Regularization and variable selection via the elastic net. *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 67(2), 301-320. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2005.00503.x>

Ekler**Ek 1. Seçilen Öznitelikler**

Günlük veriler için öznitelikler "'Ort_Sıc', 'EK_Sıc', 'Kar', 'R_Hızı', 'R_Şid', 'Basınç', 'Sonbahar', 'Yaz', 'İlkbahar', 'G10', 'G11', 'G15', 'A3', 'A4', 'A5', 'A6', 'A8', 'A9', 'Y2023', 'Haftasonu'";

Saatlik veriler için öznitelikler "'Sıcaklık', 'Nem_M', 'Nem_H', 'Kar', 'R_Şid', 'Basınç', 'Yaz', 'İlkbahar', 'A3', 'A5', 'A6', 'A8', 'Y2023', 'S1', 'S13', 'S14', 'S15', 'S16', 'S17', 'S18', 'S19', 'S2', 'S20', 'S21', 'S22', 'S23', 'S8', 'SD1624', 'MesaiSaati'" olarak belirlenmiştir.

Ek 2. 2021 Veriseti için Seçilen Öznitelikler

2021 veriseti için öznitelikler 'Sıcaklık', 'Yağış', 'Kar', 'R_Hızı', 'R_Şid', 'Sonbahar', 'G24', 'A12', 'Cumartesi', 'Pazar', 'S1', 'S10', 'S11', 'S12', 'S13', 'S14', 'S15', 'S16', 'S17', 'S2', 'S3', 'S4', 'S5', 'S6', 'S7', 'S9', 'Haftasonu', 'SD1624', 'SD816', 'MesaiSaati' olarak belirlenmiştir.

PİSAGOR BULANIK SAYILARA DAYALI CRITIC-MARCOS YÖNTEMİ İLE OTONOM FORKLİFT SEÇİMİ

Elif ÇALOĞLU BÜYÜKSELÇUK^{1*}

¹ Fenerbahçe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul,
ORCID No : <https://orcid.org/0000-0002-5976-6727>

Anahtar Kelimeler	Öz
Otonom forklift Pisagor bulanık sayılar CRITIC MARCOS Çok kriterli karar verme	Üretim ve depolama işletmelerinde forkliftler işletmenin verimliliğini arttırmak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle son yıllarda teknolojiye yaşanan gelişmeler ve Endüstri 4.0 uygulamaları ile otonom forkliftler modern işletmelerde klasik forkliftlerin yerini almaktadır. Çevre dostu ve 24 saat çalışabilen bu araçlar ile işletme bünyesinde verim artırılırken aynı zamanda insan hatasından kaynaklı kazalar da önlenmektedir. Bu çalışma, modern işletmelere otonom forklift belirleme sürecinde destek olmak üzere geliştirilmiştir. Bu araçların seçiminde hangi kriterlerin dikkate alınması gerektiği literatür taraması sonucunda belirlenmiştir. Bu süreçte yaşanabilecek belirsizlik ve sübjektifliğin etkilerini en aza indirebilmek amacıyla Pisagor bulanık sayılardan yararlanarak problem çözülmüştür. CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) yöntemi ile kriterlere ait ağırlıklar belirlendikten sonra MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution) yöntemi kullanılarak alternatifler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, belirlenen sekiz farklı kriter içerisinde şarj süresi, dönme yarıçapı ve maksimum kaldıracağı yük miktarı en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Farklı değerlendirme kriterleri için en iyi alternatif olarak Kuzey Amerika'da üretilen A7 alternatifi belirlenmiştir.

PYTHAGOREAN FUZZY-BASED CRITIC-MARCOS METHOD FOR AUTONOMOUS FORKLIFT SELECTION

Keywords	Abstract
Autonomous forklift Pythagorean fuzzy numbers CRITIC MARCOS Multi-criteria decision-making	In production and storage facilities, forklifts are commonly used to increase the efficiency of operations. Particularly in recent years, advancements in technology and the implementation of Industry 4.0 practices have led to the adoption of autonomous forklifts in modern enterprises, replacing conventional forklifts. These environmentally friendly and 24/7 operational vehicles not only enhance productivity within the organization but also mitigate accidents stemming from human error. This study has been developed to support modern enterprises in the process of selecting autonomous forklifts. The criteria for selecting these vehicles have been determined through a review of the literature. To minimize the impact of uncertainties and subjectivity in this process, the problem has been solved using Pythagorean fuzzy numbers. After determining the weights of the criteria with the CRITIC (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) method, the alternatives were evaluated using the MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to COmpromise Solution) method. In conclusion, among the eight specified criteria, charging time, turning radius, and maximum load capacity have been identified as the most significant criteria. As the optimal alternative for different evaluation criteria, the A7 alternative produced in North America has been determined.

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi : 05.06.2024

Submission Date : 05.06.2024

Kabul Tarihi : 12.10.2024

Accepted Date : 12.10.2024

* Sorumlu yazar: elif.buyukselcuk@fbu.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1496123>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Pandemi ile tüketici davranışları değişmiş, yaygın olan e-ticaret faaliyetleri daha da geniş kitlelere yayılmıştır. Hızla gelişen e-ticaret faaliyetleri işletmelerin tedarik zinciri ve lojistik faaliyetlerinin karmaşık ve yoğunlaşmasına neden olmuştur. Ancak artan faaliyetlere rağmen işgücünde azalmalar meydana gelmiştir. Persol Araştırma ve Danışmanlık Şirketi ile Chuo Üniversitesi 2018 yılında yaptıkları araştırmada 2030 yılında Japonya'da işgücü talebinin yaklaşık 71 milyona ulaşacağını ve sonuçta 6,5 milyon işgücü kıtlığı ile karşılaşacağını öngörmüşlerdir (Bhat, Kai, Suzuki, Shiroshima ve Yoshida, 2023). Bunun sonucu olarak işletmeler operasyonlarını yeniden gözden geçirerek tasarlamakta ve uzaktan erişilebilir, otomatik kontrol edilebilir daha yenilikçi ve teknolojik sistemler kurmaktadır. Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de hemen hemen her iş kolunda işgücü yetersizliği ile karşı karşıya kalınmaktadır. Bu nedenle, işletmeler depo ve operasyonel süreçlerinde yenilikçi yaklaşımları takip ederek otonom araçların kullanımına yönelmişlerdir. Bu araçların denilince akla sadece fabrika ve depolar gelmemeli, hastane, otel, okul, bakımevleri gibi hizmet üreten işletmeler de gelmelidir (Lopez, Zalama ve Gomez-Garcia-Bermejo, 2022).

Yapay zekâ, nesnelerin interneti, bulut teknolojisi, büyük veri analitiğini kapsayan Endüstri 4.0 hareketleri ile işletmeler akıllı fabrikalar yaratmak üzere harekete geçmişlerdir. Bu geçişin temelinde ise daha verimli, daha düşük maliyetli, daha çevreci, daha yenilikçi ve sürdürülebilir sistem anlayışı yatmaktadır (Chen, Zhong, Mumtaz, Zhou ve Zhu, 2023; Ahmed, Jeon ve Piccialli, 2022; Dey, Bhuniya ve Sarkar, 2021). Akıllı fabrikalar denilince kamera ve sensörlerle donatılmış otonom araçlar, otonom forkliftler, otonom mobil robotların süreçlerde yer aldığı işletmeler akla gelmelidir. Depolarda ve tesis içerisinde malların taşınmasında kullanılan otonom forkliftler verimlilik, güvenlik, esneklik ve maliyet açısından birçok avantaj sağlamaktadırlar (Mohammadpour ve diğ., 2024).

Geleneksel forkliftler bir operatör tarafından kullanılan ve operatörün hatası sebebiyle kaza oranlarının yüksek olduğu araçlardır. Karmaşık, dar alanlı depo ve işletmelerde bu kazaların oranları daha da artmaktadır. Bu da daha kaliteli operatörlere ihtiyaç duyulacağı anlamına gelmektedir. Kazaların önüne geçilmesi için alınacak önlemler, operatörlerin niteliğinin artırılması maliyetlerin yükselmesine neden olmaktadır. Üstelik bu maliyetlere karşılık verimlilik yüksek olmamaktadır. Bu nedenle de otonom forkliftlerin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır (Abdellatif, Shoeir, Talaat, Gabalah, Elbably ve Saleh, 2018; Choi, Ahn ve Seo, 2020; Shete, Kakade ve Dhanvijay, 2021). Yapılan araştırmalarda yaklaşık 3.6 milyon dolar olan otonom forklift pazarının 2032 yılına kadar yaklaşık 9.7 milyona çıkması öngörülmektedir (Market Research Future, 2024).

Otonom forkliftler ise programlanmış rotalarda çalıştılarından daha güvenli ve öngörülebilir bir şekilde hareket ederler. Dolayısıyla geleneksel forkliftlere göre insan hatasından kaynaklı kaza riskleri en aza indirgenmekte hatta sıfırlanmaktadır. Otonom forkliftler enerjileri olduğu müddetçe yorulmadan, dinlenmeden 7/24 çalışabilirler. Geleneksel forkliftlerde ise operatör mutlaka belli saat dilimlerinde mola vererek çalışmalıdır. Aksi takdirde operatör kaynaklı hatalara bağlı kaza riskleri artmaktadır. Geleneksel forkliftlerde operatör maaşları, eğitim, sigorta vb. masraflar ile karşılaşmaktadır. Bu da işletme maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Otonom forkliftlerde ise işletme maliyetleri daha düşüktür. Otonom forkliftlerde insan gücünden kaynaklanan gecikmeler ve hatalar olmadığından operasyonlar daha etkili ve verimli yönetilmektedir. Otonom forkliftler sayesinde tesis içi güvenlik artmaktadır. Operatör tarafından yönetilen forkliftlerde ise çarpışma ve yaralanma riskleri sebebiyle tesis içi güvenlik seviyesi düşüktür. Otonom forkliftlerdeki sensörler ve kameralar bu kazaların önlenmesine yardımcı olmaktadır. Otonom forkliftler elektrik veya alternatif yakıtlarla çalışabildiğinden çevre dostu ve sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemeye yardımcı olan araçlardır (Abuzied, Nazih ve Sahbel, 2024).

Bu kadar avantajı sebebiyle işletmeler süreçlerinde bu araçlardan faydalanmak istemektedirler. Ayrıca giderek artan pazar büyüklüğü ve her alanda otomasyona yönelik yenilikçi faaliyetlerin uygulanması işletmelerin otonom forkliftlere geçişini zorunlu kılmaktadır. Ancak günümüzde farklı markalara ait otonom forkliftlerin piyasada bulunması, işletmelerin seçim sürecinde akıllarının karışmasına neden olmaktadır. Yöneticiler karar verme sürecinde hangi kriterleri dikkate alacaklarını bilmek ve bu kriterler ışığı altında doğru alternatifi belirlemek isterler. Dinamik iş çevresi içerisinde yüksek belirsizlik ve risk ortamlarında karar vermek durumunda kalan yöneticiler doğru hareket etmek durumundadırlar. Bu da çok kriterli karar verme (ÇKKV) problemlerini karşımıza çıkarmaktadır. ÇKKV problemlerinin çözümü için literatürde çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada da en iyi otonom forkliftin belirlenmesinde hangi kriterler göz önünde bulundurulmalı sorusunun yanıtı aranırken, belirlenen kriterlere göre alternatifler değerlendirilecek ve en iyisi tespit edilecektir. Belirsizlik ve öznel değerlendirmeleri en aza indirgeyebilmek adına bulanık mantık kullanılacaktır. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Pisagor bulanık sayılara dayanan CRITIC yöntemi ve alternatiflerin sıralanmasında ise MARCOS yöntemi uygulanacaktır. Bundan sonraki bölümde literatür taraması, daha sonra çalışmada kullanılan yöntemler tanıtılacaktır. Daha sonra alternatif ve kriterler Pisagor bulanık sayılara dayalı CRITIC-MARCOS yöntemleri ile değerlendirilecek ve bulgular tartışılacaktır. Sonuç bölümünde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar

verilirken, çalışmada karşılaşılan sınırlılıklar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalara değinilecektir.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Çalışmaya konu olan otonom forkliftler ve çalışmada kullanılan ÇKKV yöntemleri hakkında yapılan kapsamlı literatür taraması sonuçları bu bölümde özetlenecektir.

2.1. Forkliftler Hakkındaki Çalışmalar

Literatürde farklı araştırmacılar tarafından otonom forkliftler üzerine yapılan az sayıda araştırmaya rastlanmıştır. Zhang, Li, Fang, Luo ve Cao (2024) yaptıkları çalışmada, otonom forkliftler için maliyet değerlendirmesini de dikkate alan hareket planlama stratejisi geliştirmişlerdir. Önerilen ortak sevk ve planlama yöntemi çarpışmayı önleyen ve hızlı bir çözüm geliştiren bir yöntemdir. Strateji belirlenirken yapılmaktadır. Amio, Ahmed, Jeong, Jung ve Nam (2024) yaptıkları çalışmada, otonom bir forkliftin hareket kabiliyetini kolaylaştırmak amacıyla mekanum tekerlekler kullanarak model bazlı hızlı kontrol algoritması tasarlamışlardır. Mohammadpour ve diğ. (2024) ise otonom forkliftlerde enerji verimliliğini artırmaya yönelik bir hareket planlama stratejisi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri strateji derin sinir ağlarını kullanarak otonom forklift kinetik modeli ile enerji tasarrufu sağlamaktadır. Akıllı fabrika ve depoların önem kazanması ile otonom robotlar her alanda kendini göstermeye başlamıştır. Depo ortamlarında otonom forkliftlerin navigasyon ve kontrolünü sağlamak üzere geliştirilen model işletmenin verimliliğini artırmayı hedeflemektedir (Vorasawad, Park ve Kim, 2023). Lopez ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada, otomatik yönlendirmeli araçlara dayalı taşıma sistemlerini simüle etmek için esnek bir çerçeve sunmaktadırlar. Simülasyonu gerçekleştirmek için kullanılan çerçeve aynı zamanda küresel kontrol sistemindeki farklı politikaların ve algoritmaların uygulanmasına da hizmet etmektedir.

Literatürde forklift seçim problemi için yapılan pek çok araştırmaya rastlanmıştır. Bunlardan biri Toktaş Palut ve Okçuoğlu tarafından (2019) yapılan çalışmadır. Çalışmada, etkin bir depo tasarımı ve yerleşimi için forklift seçiminin önemine vurgu yapılmıştır. Bir beyaz eşya firması için forklift seçim problemi ele alınmıştır. Seçim kriterleri belirlendikten sonra alternatifler bu kriterlere göre değerlendirilmiştir. Kriter ağırlıkları AHP (Analytical Hierarchy Process) ile belirlenmiş ve alternatifler TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) yöntemi ile sıralanmıştır. Forkliftin fiyatı, çalışma süresi ve kaldırma yüksekliği en önemli kriterler olarak belirlenmiştir. En uygun forklift seçildikten sonra beklenen toplam taşıma mesafelerini en küçükleme amacıyla bir model kurulmuş ve hangi ürünün nerede depolanacağına dair bilgiler elde edilmiştir.

Sarıçalı ve Kundakçı (2017) yaptıkları çalışmada bir tekstil firması için forklift seçim problemini ele almışlar ve KEMIRA-M (KEmeny Median Indicator Rank Accordance-Modified) yöntemi ile alternatifleri değerlendirmişlerdir. Alternatiflerin değerlendirilmesi için faktörleri iç ve dış olmak üzere iki grup altında incelemişlerdir. Dış dönüş yarıçapı, asansör yüksekliği ve üst koruyucu yüksekliği iç faktörler arasında yer alırken; birim fiyat, marka güvenilirliği, servis ağı ve garanti süresi dış faktörler arasında yer almıştır. İç faktörler arasında yer alan dış dönüş yarıçapı en yüksek önceliğe sahipken onu sırasıyla asansör yüksekliği ve üst koruyucu yüksekliği takip etmiştir.

Ulutaş, Topal, Karabasevic ve Balo (2023) yaptıkları çalışmada ise bir kargo şirketi için forklift seçim problemi ele alınmıştır. Alternatiflerin değerlendirilmesi için bulanık MCRAT (Multiple Criteria Ranking by Alternative Trace) yöntemi kullanılırken, kriter ağırlıklarının belirlenmesinde bulanık BWM (Best Worst Method) yöntemi uygulanmıştır. Bu çalışma ile yeni bir bulanık ÇKKV yöntemi (bulanık MCRAT) literatüre kazandırılmıştır.

Fazlollahtabar, Smailbašić ve Stević (2019) tarafından bir depoda kullanılmak üzere forklift seçim problemi ele alınmış ve WASPAS (Weighted Aggregated Sum Product Assessment)-FUCOM (Full Consistency Method) yöntemleri ile sonuç elde edilmiştir. Forklift seçim problemi için kriterler olarak satış fiyatı, forklift üretim yılı, maksimum yükleme kapasitesi, çalışma süresi, maksimum kaldırma yüksekliği, yedek parça tedariki, çalışma koşulları belirlenmiştir. Çalışma süresi ve maksimum yükleme kapasitesi en önemli kriterler olarak belirlenmiştir.

Pamučar ve Ćirović (2015) yaptıkları çalışmada forkliftleri farklı kriterlere göre değerlendirmişler ve MABAC (Multi-Attributive Border Approximation area Comparison) yöntemini kullanmışlardır. Kriterler arasında satış fiyatı, üretici garantisi, servis ağı, yedek parça tedariki, ortalama bakım maliyeti, yakıt tüketimi, maksimum taşıma kapasitesi, maksimum kaldırma kapasitesi, yüklü ve yüksüz forklift hızı, yük kaldırma ve indirme hızı yer almaktadır.

Demirci ve Manavgat (2021) tarafından yapılan bir çalışmada veri zarflama analizi, TOPSIS ve VIKOR (VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) yöntemleri kullanılarak en iyi forkliftin seçim problemi ele alınmıştır. Forklift alternatifleri fiyat, yakıt sarfiyatı, yükleme kapasitesi, motor ömrü ve satış sonrası destek kriterlerine göre değerlendirilmiş ve her üç yöntem için de sonuç aynı bulunmuştur. Yakıt sarfiyatı en önemli kriter olarak belirlenirken fiyat ve yükleme kapasitesi ikinci ve üçüncü sırada yer almıştır.

Keleş (2023) yaptığı çalışmada forklift seçim probleminde 13 alternatifini 6 seçim kriterine göre değerlendirmiştir. Forklift fiyatı, ağırlığı, yükleme

kapasitesi, hız, kaldırma yüksekliği, motor gücü kriterler arasında yer almıştır. Motor gücü, fiyat ve yükleme kapasitesi en önemli kriterler olarak belirlenmiştir.

Görçün, Ulutaş, Topal ve Ecer (2024), beş farklı teleskopik forklift; yükleme kapasitesi, kaldırma yüksekliği, ikinci el satış fiyatı, forklift fiyatı, bakım maliyeti ve yakıt tüketimi gibi kriterlere göre değerlendirilmiştir. Forklift fiyatı, yükleme kapasitesi ve kaldırma yüksekliği en önemli kriterler arasında yer almıştır.

2.2. CRITIC Yöntemi Hakkındaki Çalışmalar

ÇKKV problemlerinin çözümünde kullanılan kriterlerin ağırlıklarını belirlemek üzere literatürde karşımıza farklı yöntemler çıkmaktadır. Bu yöntemlerden biri de CRITIC yöntemidir.

Zafar, Alamgir ve Rehman (2021) yaptıkları çalışmada, uygun halka açık blok zincir platformlarını sıralamak ve özetlemek için ÇKKV yaklaşımını kullanmaktadırlar. Bu amaçla, Entropi ve CRITIC yönteminin birleşimi olan yeni bir ağırlık atama tekniği olan ECWM (Entropy-CRITIC Weight Method)'yi sunmaktadırlar. Gurralla, Helmy ve Ndiaye (2022) yaptıkları araştırmada, gıda ambalaj sektöründe, fiziksel, mekanik, optik, termal, yenilebilir film hazırlama için en uygun biyo-kompozitin seçimine yönelik ÇKKV uygulanmasını gerçekleştirmişlerdir. Bu nedenle, çalışma, farklı özellikler sergileyen bir dizi film örneği için CRITIC ve TOPSIS yöntemlerinden formüle edilmiş bir Hibrit ÇKKV yöntemini kullanmayı amaçlamaktadır. Saxena, Kumar ve Ram (2022) optimum SRGM'yi (software reliability growth model) seçmek için CRITIC ve TOPSIS temeline dayanan bütünleşmiş bir teknik geliştirmişlerdir. Kriterlerin ağırlıkları CRITIC yöntemiyle elde edilir ve SRGM'ler TOPSIS yöntemi kullanılarak sıralanmaktadır. Ertemel, Menekse ve Camgoz Akdag (2023) ergenlerin akıllı telefon bağımlılığı düzeyini değerlendirmek için Pisagor bulanık kümelerine dayanan bütünleşmiş bir bulanık ÇKKV metodolojisini sunmaktadırlar. Kriterlerin önem düzeylerinin objektif bir şekilde belirlenmesi amacıyla CRITIC yöntemi kullanılmakta, seçilen adayların akıllı telefon bağımlılık düzeyleri ise TOPSIS kullanılarak sıralanmaktadır. Karar uzmanlarının kriterlerinde ve ağırlıklarında meydana gelen değişikliklerin aday sıralamalarında neden olduğu değişiklikleri incelemek için de duyarlılık analizi yapılmıştır. Ayrıca karşılaştırmalı analiz kapsamında elde edilen bulguların doğrulanması amacıyla EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution) yaklaşımı kullanılmıştır. Tuş ve Aytaç Adalı (2019) yaptıkları çalışmada, özel hastane personelinin zaman ve devamına yönelik olan yazılım seçimi problemi için CRITIC ve WASPAS yöntemlerine dayanan yeni birleştirilmiş karar verme yaklaşımı kullanmaktadırlar. Kriterlerin ağırlıkları CRITIC yöntemiyle belirlenmekte ve alternatifler WASPAS yöntemiyle sıralanarak en

uygun alternatifin bulunması sağlanmaktadır. Liaw, Hsu ve Lo (2020) ise yaptıkları çalışmada, sistematik yeşil dış kaynak kullanımı değerlendirmesi için bir dizi ÇKKV yaklaşımı önermektedirler. Öncelikle kriterler arasındaki karşılıklı bağımlı ilişkileri tartışmak üzere uzmanlardan oluşan bir ekip kurulmuş ve öznel etki ağırlıkları oluşturmak için DEMATEL (The Decision Making Trial and Evaluation Laboratory) tekniği uygulanmıştır. Daha sonra, dış kaynak sağlayıcılarından büyük miktarda veri toplanmış ve objektif etki ağırlıklarını elde etmek için CRITIC yöntemi aracılığıyla kriterlerin ağırlığı belirlenmiştir. Son olarak, yeşil dış kaynak sağlayıcılarının performansını bütünleştirmek ve bunları dört seviyeye sınıflandırmak için TOPSIS yöntemi önerilmiştir.

2.3. MARCOS Yöntemi Hakkındaki Çalışmalar

Son yıllarda MARCOS yöntemi farklı alanlarda karşılaşılan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır (Birkocak Acar, Bakadur, Ütebay ve Özdağoğlu, 2023; Mishra, Rani, Pamucar ve Saha, 2023; Ulutaş, Karabasevic, Popovic, Stanujkic, 2020). Trung (2022) tarafından yapılan çalışmada, beş farklı veri normalizasyon yöntemleri MARCOS yöntemiyle birleştirilerek üç farklı durum altında değerlendirilmiştir. MARCOS yöntemiyle birleştirilerek en uygun veri normalleştirme yöntemleri tanımlandıktan sonra iki yeni veri normalleştirme yöntemi önerilmiştir. Stević, Pamučar, Puška ve Chatterjee (2020) ise yaptıkları çalışmada, özel sağlık sektöründe sürdürülebilir tedarikçilerin seçilmesi için MARCOS yönteminin nasıl kullanılacağı açıklanmaktadır. Çalışma, sağlık sektöründe sürdürülebilir tedarikçi seçimine ilişkin bir örnek olay çalışması ile sürdürülebilirliğin tüm yönleri için 21 kritere göre sekiz alternatifin sıralanmasını içermektedir. Yeni yöntemin sonuçları ve doğrulanması kapsamlı bir duyarlılık analizi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Kriterlerin ağırlık değerlerinin değiştiği 21 senaryo oluşturulmuş, 1'den 9'a kadar olan ölçüm skalası 1-5 aralığında değiştirilmiş, altı farklı ÇKKV yöntemiyle karşılaştırma yapılmıştır.

Mitra (2022) ise yaptığı çalışmada belirlenen kriterlere göre MARCOS yöntemini kullanarak pamuk dokuma seçim problemini ele almaktadır. Liu (2023) MOW (mixed objective weighting) yöntemini geliştirerek ve MARCOS yöntemini genişleterek (alternatiflerin ölçülmesi ve buna göre sıralama) yenilenebilir tuzdan arındırma alternatiflerini çok boyutlu değerlendirme ve veri belirsizliği perspektifinden değerlendirmek için çok kriterli bir karar verme çerçevesi önermiştir.

3. Materyal ve Yöntem

Belirsizlik ve kesin olmayan bilginin daha anlamlı ve güvenilir bir veri seti olarak oluşturulmasında bulanık sayılardan faydalanılır. CRITIC yöntemi kriterler

arasındaki ilişkiyi dikkate alarak daha gerçekçi ve objektif sonuçlar elde edilmesine imkân sağlar. MARCOS yöntemi ise kalitatif ve kantitatif kriterleri dikkate alarak alternatiflerin değerlendirilmesinde etkili, kapsamlı ve anlaşılır sonuçlar verir. Bu bölümde, çalışmada kullanılacak olan Pisagor bulanık sayılar ile bu sayılara dayanan ve ağırlıkları belirlemek üzere kullanılacak olan CRITIC yöntemi, alternatifleri sıralamada kullanılacak olan MARCOS yöntemi ve bu yöntemlere ait işlem adımları tanıtılacaktır.

3.1. Pisagor Bulanık Sayılar

Bulanık mantık belirsizliklerle baş edebilmek için geliştirilen ve temelde bir önermenin tamamen doğru veya yanlış olmadığını, bir dereceye kadar doğru veya yanlış olduğunu ifade etmektedir. Zadeh (1965) tarafından geliştirilen bulanık kümeler, klasik kümelerin bir uzantısı olarak önerilmiştir. Literatürde farklı bulanık kümeler ile karşılaşılmaktadır: aralık değerli bulanık kümeler, kararsız bulanık kümeler, sezgisel bulanık kümeler, nötrosofik bulanık kümeler, Pisagor bulanık kümeler gibi (Atalık ve Senturk, 2019).

Pisagor bulanık sayılar, bulanık mantıkta kullanılan bir tür bulanık sayıdır ve ismini Antik Yunan matematikçisi Pisagor'dan alır. Pisagor bulanık sayılar, bulanık kümelerin tanımlanmasında ve belirsizlikle başa çıkmada kullanılır. Bu sayılar mühendislik, yapay zekâ, denetim sistemleri ve karar verme gibi birçok alanda uygulama bulur. Özellikle belirsizlik içeren problemleri modellemek ve çözmek için yaygın olarak kullanılırlar. Pisagor bulanık sayıları, bulanık mantık tabanlı sistemlerde gelişmiş karar verme süreçlerinin tasarlanması ve uygulanması için önemli bir araç olarak kabul edilir (Zhang ve Wang, 2023).

$$D(Y_1, Y_2) = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\left((\mu_{x_1})^2 - (\mu_{x_2})^2 \right)^2 + \left((v_{x_1})^2 - (v_{x_2})^2 \right)^2 + \left((\hbar_{x_1})^2 - (\hbar_{x_2})^2 \right)^2 \right]} \quad (7)$$

Burada \hbar_{x_i} tereddüt derecesini ifade eder ve Denklem (8) kullanılarak hesaplanır.

$$\hbar_{x_i} = \sqrt{1 - (\mu_{x_i})^2 - (v_{x_i})^2} \quad (8)$$

Bir Y_1 Pisagor bulanık sayısı için skor ve doğruluk fonksiyonları Denklem (9) ve Denklem (10)'daki gibi tanımlanmaktadır.

$$sco(Y_1) = (\mu_{x_1})^2 - (v_{x_1})^2, sco(Y_1) \in [-1, 1] \quad (9)$$

$$acc(Y_1) = (\mu_{x_1})^2 + (v_{x_1})^2, acc(Y_1) \in [0, 1] \quad (10)$$

Yager (2014) X sonlu kümesi için Y Pisagor bulanık sayısını Denklem (1) ile tanımlamaktadır.

$$Y = \{ \langle X_i, Y(\mu_Y(x_i), v_Y(x_i)) \rangle | x_i \in X \} \quad (1)$$

Burada $X \rightarrow [0, 1]$ aralığı için μ_Y ve v_Y sırasıyla üyelik ve üyelik olmama derecelerini gösterirken Denklem (2) koşulunu sağlarlar.

$$0 \leq (\mu_Y(x_i))^2 + (v_Y(x_i))^2 \leq 1 \quad (2)$$

Tanımlanan iki farklı Y_1 ve Y_2 gibi Pisagor bulanık sayısı için temel işlemler Denklem (3) ve Denklem (4)'teki gibi elde edilir.

$$Y_1 + Y_2 = \left(\sqrt{\mu_{x_1}^2 + \mu_{x_2}^2 - \mu_{x_1}^2 \mu_{x_2}^2}, v_{x_1} v_{x_2} \right) \quad (3)$$

$$Y_1 \otimes Y_2 = \left(\mu_{x_1} \mu_{x_2}, \sqrt{v_{x_1}^2 + v_{x_2}^2 - v_{x_1}^2 v_{x_2}^2} \right) \quad (4)$$

ρ , sıfırdan büyük bir sabit olarak tanımlandığında Denklem (5) ve Denklem (6) aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\rho Y_1 = \left(\sqrt{1 - (1 - \mu_{x_1}^2)^\rho}, v_{x_1}^\rho \right) \quad (5)$$

$$Y_1^\rho = \left(\mu_{x_1}^\rho, \sqrt{1 - (1 - v_{x_1}^2)^\rho} \right) \quad (6)$$

İki farklı Pisagor bulanık sayısı için mesafe ölçüsü ise Denklem (7) yardımıyla hesaplanır.

3.2. CRITIC Yöntemi

CRITIC yöntemi Diakoulaki, Mavrotas ve Papayannakis (1995) tarafından geliştirilen ve standart sapma hesaplama temeline dayanan bir yöntemdir. Bu yöntemde kriterler arasındaki standart sapma ile kriterler arasındaki korelasyon da dikkate alınmaktadır. Karar vericiler tarafından yapılan değerlendirmelerde ortaya çıkan subjektifliği elimine edebilmede bu yöntem oldukça etkilidir (Ersoy, 2022).

Aşağıda Pisagor bulanık sayılar temeline dayanan CRITIC yöntemine ait işlem adımları verilmektedir (Wang ve diğ., 2024):

Adım 1. Tüm alternatiflerin tüm kriterlere göre değerlendirildiği ve Pisagor bulanık sayılara dayanan başlangıç karar matrisi Tablo 1'de verilen dilsel değişkenler kullanılarak oluşturulur. Daha sonra

Denklem (9) kullanılarak skor fonksiyonu (k_{ij}) hesaplanır.

Adım 2. Normalize edilmiş Pisagor bulanık sayılara dayanan karar matrisi Denklem (11)'deki gibi oluşturulur.

$$\widehat{k}_{ij} = \begin{cases} \frac{k_{ij}-k_j^-}{k_j^+-k_j^-}, j \in C_1 \\ \frac{k_j^+-k_{ij}}{k_j^+-k_j^-}, j \in C_2 \end{cases} \quad (11)$$

Burada C_1 fayda yönlü kriterleri, C_2 ise maliyet yönlü kriterleri ifade etmektedir. k_j^+ , k_{ij} değerleri içerisindeki en büyük skor değerini, k_j^- , k_{ij} değerleri içerisindeki en küçük skor değerini ifade etmektedir.

Tablo 1. Dilsel İfadelere Dayanan Pisagor Bulanık Sayılar

Dilsel İfadeler	Pisagor Bulanık Sayılar	
	μ	ν
Çok çok yüksek değerli (EHV)	0,95	0,20
Çok yüksek değerli (VHV)	0,85	0,35
Yüksek değerli (HV)	0,70	0,40
Ortalama üstü değerli (AAV)	0,65	0,45
Ortalama değerli (AV)	0,50	0,55
Ortalama altı değerli (BAV)	0,40	0,65
Düşük değerli (LV)	0,35	0,75
Çok düşük değerli (VLV)	0,25	0,85
Çok çok düşük değerli (ELV)	0,20	0,95

Adım 3. Her bir kritere ait standart sapma Denklem (12) kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\widehat{k}_{ij} - \bar{k}_j)^2}{m}} \quad (12)$$

Burada m alternatif sayısını ifade ederken, \bar{k}_j Denklem (13) kullanılarak hesaplanır.

$$\bar{k}_j = \sum_{i=1}^m \frac{\widehat{k}_{ij}}{m} \quad (13)$$

Adım 4. Kriter çiftleri arasındaki korelasyon katsayısı Denklem (14) ile hesaplanır.

$$r_{jj'} = \frac{\sum_{i=1}^m [(\widehat{k}_{ij} - \bar{k}_j)(\widehat{k}_{ij'} - \bar{k}_{j'})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (\widehat{k}_{ij} - \bar{k}_j)^2 \sum_{i=1}^m (\widehat{k}_{ij'} - \bar{k}_{j'})^2}}, j \text{ ve } j' = 1, \dots, n \quad (14)$$

Burada n kriter sayısını ifade eder.

Adım 5. Toplam bilgi (I_j) ise Denklem (15) kullanılarak hesaplanır.

$$I_j = \sigma_j \sum_{j'=1}^n (1 - r_{jj'}) \quad (15)$$

Adım 6. Objektif kriter ağırlıkları (w_j) Denklem (16) ile hesaplanır.

$$w_j = \frac{I_j}{\sum_{j=1}^n I_j} \quad (16)$$

3.3. MARCOS Yöntemi

MARCOS yöntemi sonlu alternatifler ve çatışan kriterler için uygun bir yöntemdir. Stević, Pamučar, Puška ve Chatterjee (2020) tarafından literatüre kazandırılan bu ÇKKV yönteminde en iyi alternatif ideal olana en yakın ve ideal olmayandan en uzak olan alternatif olarak tanımlanır. Bu yöntem çok sayıda alternatifin olduğu karmaşık problemlerde dahi basit çözüm algoritması sayesinde etkili bir çözüm sunan esnek bir yöntemdir (Ayçin ve Arsu, 2022).

Pisagor bulanık sayılara dayanan MARCOS yönteminin işlem adımları aşağıdaki gibi verilmektedir (Wang ve diğ., 2024).

Adım 1. Pisagor bulanık sayılara dayanan başlangıç karar matrisi aşağıdaki gibi oluşturulur.

$$\check{Y} = [\check{y}_{ij}]_{m \times n} = \begin{matrix} A_1 & \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \end{bmatrix} \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \end{matrix} \quad (17)$$

Adım 2. EEJ ve EJ çözüm değerleri \check{Y} matrisine ilave edilerek genişletilmiş Pisagor bulanık matrisi (L^F) aşağıdaki gibi oluşturulur. EEJ ve EJ sırasıyla ideal ve anti-ideal çözüm değerleri olup Denklem (18)-Denklem (20)'den yararlanılarak elde edilir.

$$L^F = \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ \vdots \\ A_m \\ EEJ \\ EJ \end{matrix} \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & \dots & c_n \\ y_{11} & y_{12} & \dots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \dots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \dots & y_{mn} \\ y_{ee1} & y_{ee2} & \dots & y_{een} \\ y_{e1} & y_{e2} & \dots & y_{en} \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\check{y}_{eej} = \begin{cases} \min_i \check{y}_{ij}, & \text{if } j \in C_B \\ \max_i \check{y}_{ij}, & \text{if } j \in C_{NB} \end{cases} \quad (19)$$

$$\check{y}_{ej} = \begin{cases} \max_i \check{y}_{ij}, & \text{if } j \in C_B \\ \min_i \check{y}_{ij}, & \text{if } j \in C_{NB} \end{cases} \quad (20)$$

Burada C_B ve C_{NB} fayda ve maliyet kriterler kümesini ifade etmektedir.

Adım 3. Daha sonra Pisagor bulanık karar matrisi normalize edilir.

$$\tilde{y}_{ij}^N = \begin{cases} \tilde{y}_{ij}, j \in C_B \\ (\tilde{y}_{ij})^c, j \in C_{NB} \end{cases} \quad (21)$$

Adım 4. Normalize edilen Pisagor bulanık karar matrisi kriter ağırlıkları kullanılarak ağırlıklandırılır.

$$\tilde{y}_{ij}^W = \tilde{y}_{ij}^N \times w_j = \left((\mu_{\tilde{y}_{ij}^N})^{w_j}, \sqrt{1 - (1 - \tilde{h}_{\tilde{y}_{ij}^N})^{2w_j}} \right) \quad (22)$$

Adım 5. Daha sonra alternatiflerin ideal ve anti ideal çözüme göre fayda dereceleri hesaplanır.

$$K_i^+ = \frac{S_i}{S_{ej}} \quad (23)$$

$$K_i^- = \frac{S_i}{S_{eej}} \quad (24)$$

Burada S_i değeri Denklem (25) kullanılarak hesaplanır.

$$S_i = \sum_{j=1}^n score(\tilde{y}_{ij}^W) \quad (25)$$

Adım 6. Alternatiflerin fayda fonksiyonları belirlenir.

$$f(K_i) = \frac{K_i^+ - K_i^-}{1 - f(K_i^+) - 1 - f(K_i^-)} \quad (26)$$

Burada $f(K_i^+)$ ve $f(K_i^-)$ sırasıyla ideal çözüme ve anti ideal çözüme göre fayda fonksiyonlarını ifade etmekte ve Denklem (27) ve Denklem (28) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$f(K_i^+) = \frac{K_i^-}{K_i^+ + K_i^-} \quad (27)$$

$$f(K_i^-) = \frac{K_i^+}{K_i^+ + K_i^-} \quad (28)$$

Hesaplanan fayda fonksiyon değerlerine göre bütün alternatifler büyükten küçüğe doğru sıralanır. $f(K_i)$ değeri en yüksek olan ve birinci sırada yer alan alternatif en iyi alternatif olarak belirlenir.

4. Otonom Forklift Seçim Problemi

Bu bölümde piyasada ticari olarak satışı olan farklı marka ve modellere ait olan otonom forkliftler değerlendirilecektir. İlk olarak otonom forkliftlere ait değerlendirme kriterleri belirlenecek ve daha sonra CRITIC yöntemi ile bu kriterler ağırlıklandırılacaktır. Daha sonra belirlenen alternatifler bu kriterlere göre

MARCOS yöntemi kullanılarak sıralanacaktır. Tüm bu yöntemlerde Pisagor bulanık sayılardan yararlanılacaktır. Bulanık sayıların bir uzantısı olan ve geleneksel bulanık sayılara kıyasla yeni bir ayrıntı düzeyi içeren Pisagor bulanık sayılar belirsizlik ve kesin olmaya durumların daha karmaşık olarak temsil edilmesi için kullanılır. Pisagor bulanık sayılar ile belirsizlik daha iyi temsil edilerek kesin olmayan veriler daha iyi modellenir. Pisagor bulanık sayılar daha karmaşık üyelik derecelerini temsil edebilme özelliğine sahiptirler. Özetle Pisagor bulanık sayılar belirsizlik ve kesin olmayan durumlarla başa çıkmada daha ayrıntılı ve esnek bir yaklaşım sunabilme yeteneğine sahiptirler. Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4.1. Kriter ve Alternatiflerin Belirlenmesi

Literatür taraması ve otonom forkliftler hakkında yapılan incelemeler sonucunda değerlendirme kriterleri olarak; satın alma maliyeti (\$), maksimum kaldırma yüksekliği (mm), maksimum yük kaldırma kapasitesi (kg), yüklü iken maksimum hız (m/s), dönme yarıçapı (mm), forkliftin boyutları (uzunluk-genişlik-yükseklik) şarj süresi (dakika), çalışma süresi (saat) belirlenmiştir. Belirlenen kriterler Tablo 2'de açıklanmıştır. Piyasada ticari olarak mevcut olan çok sayıda otonom forklift bulunmaktadır. Bu çalışmada üretim hatlarında ve depolarda malzeme taşıma, kaldırma için kullanılan otonom palet istifleyici forkliftler değerlendirmeye alınacaktır. Bunlar içerisinde de özellikle elektrikle çalışan, maksimum beş tona kadar yük kaldıran ve taşıyabilenler alternatif olarak tercih edilmiştir. Alternatiflere ait bilgiler Tablo 3'te verilmiştir. Seçilen alternatiflerin her birinde sensörler, kameralar vb. gibi akıllı navigasyon sistemleri bulunduğundan değerlendirmede bir kriter olarak dikkate alınmamıştır.

4.2. Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu çalışmada, farklı firmalara ait 7 otonom forklift modeli alternatif olarak belirlenmiştir. Alternatiflerin değerlendirme kriterlerine göre performanslarını gösteren başlangıç karar matrisi Tablo 4'te verildiği gibidir. Alternatiflere ait teknik özellikler ve bilgiler, ürünlerin resmi internet sayfalarından ve satış danışmanlarından elde edilmiştir. Elde edilen veriler Tablo 1'de verilen dilsel değişkenler kullanılarak Pisagor bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Pisagor bulanık sayılara dayanan CRITIC yöntemi kullanılarak kriter ağırlıkları belirlenmiştir.

Tablo 2. Değerlendirme Kriterleri ve Açıklamaları

Kriter Adı	Kriter Kodu	Açıklama
Satın alma maliyeti (\$)	C ₁	Ürüne ait birim satın alma maliyetini ifade etmektedir.
Maksimum kaldırma yüksekliği (mm)	C ₂	Maksimum kaldırma yüksekliği, bir otonom forkliftin belirli bir yükü ne kadar yükseğe kaldırabileceğini belirler. Bu özellik, depo yönetiminde verimlilik sağlamak ve yüksek yoğunluklu depolama sistemlerinde kullanımı optimize etmek için önemlidir.
Maksimum yük kaldırma kapasitesi (kg)	C ₃	Bir otonom forkliftin güvenli ve etkili bir şekilde taşıyabileceği maksimum ağırlığı belirler. Bu, depo operasyonlarında güvenlik sağlamak ve ağır yükleri verimli bir şekilde taşımak için önemlidir.
Maksimum hız (m/s)	C ₄	Bir otonom forkliftin bir saniyede alacağı yolu ifade eder. Otonom forkliftlerin maksimum hızı, depo içindeki taşıma işlemlerini hızlandırmak ve verimliliği artırmak için önemlidir.
Dönme yarıçapı (mm)	C ₅	Dönme yarıçapı, forkliftin arka tekerleklerinin sabit bir dönme merkezine (genellikle arka aksın ortası) göre döndüğü bir daireyi ifade eder. Daha küçük bir dönme yarıçapı, depo içindeki dar alanlarda çalışırken daha fazla manevra kabiliyeti sağlar ve işletme verimliliğini artırabilir.
Ebat (mmxmmxmm)	C ₆	Bir otonom forkliftin ebatları, uzunluğu, genişliği ve yüksekliği gibi özelliklerini tanımlar. Bu bilgiler, forkliftin belirli bir alan içinde kullanılabilirliğini ve manevra kabiliyetini belirlemek için önemlidir.
Şarj süresi (saat)	C ₇	Şarj süresi, bataryanın kullanılabilirliğini ve işletme verimliliğini etkileyebileceği için önemlidir. Bataryanın %10-%80 dolması için gerekli olan süreyi ifade eder.
Çalışma süresi (saat)	C ₈	Tam dolu bir batarya ile kesintisiz olarak çalışılabilen süreyi ifade eder. İşletme planlaması ve operasyonel verimlilik için önemlidir.

Tablo 3. Otonom Forklift Alternatifleri

Alternatif kodu	Açıklama
A ₁	Amerikan kökenli olan işletme, robotik ve otonom çözümler ile üretim ve depolama süreçlerine çözümler geliştirmektedir.
A ₂	Avusturya menşeli firma, müşterilerine lojistik süreçlerinin verimliliğini artırmaya yönelik çözümler geliştirmektedir.
A ₃	Dünyanın pek çok ülkesinde hizmet veren işletme, 1200'den fazla işbirlikçisi ile endüstriyel çözümler geliştirerek verimliliği arttırmaktadır.
A ₄	Yirmi yılı aşkın süredir geliştirdikleri sistemler ile üç farklı kıtada hizmet üretmektedirler.
A ₅	Türkiye'de faaliyet gösteren işletme 20 yılı aşkın süredir başarılı otomasyon projelerine imza atmışlardır.
A ₆	2020 yılında kurulan Çinli işletme otonom forkliftleri ile endüstrilere çözümler sunmaktadır.
A ₇	50 yılı aşkın süredir Kuzey Amerika'da faaliyetlerine devam eden işletme pek çok farklı sektörde başarılı projeler gerçekleştirmiştir.

Tablo 4. Başlangıç Karar Matrisi

	C ₁		C ₂		C ₃		C ₄		C ₅		C ₆		C ₇		C ₈	
	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν	μ	ν
A ₁	0,40	0,65	0,70	0,40	0,35	0,75	0,95	0,20	0,70	0,40	0,25	0,85	0,70	0,40	0,95	0,20
A ₂	0,65	0,45	0,50	0,55	0,50	0,55	0,40	0,65	0,20	0,95	0,35	0,75	0,95	0,20	0,70	0,40
A ₃	0,50	0,55	0,25	0,85	0,95	0,20	0,65	0,45	0,65	0,45	0,50	0,55	0,95	0,20	0,40	0,65
A ₄	0,35	0,75	0,85	0,35	0,65	0,45	0,70	0,40	0,50	0,55	0,40	0,65	0,70	0,40	0,65	0,45
A ₅	0,85	0,35	0,20	0,95	0,50	0,55	0,50	0,55	0,25	0,85	0,95	0,20	0,25	0,85	0,35	0,75
A ₆	0,70	0,40	0,50	0,55	0,40	0,65	0,35	0,75	0,95	0,20	0,85	0,35	0,95	0,20	0,85	0,35
A ₇	0,25	0,85	0,95	0,20	0,85	0,35	0,95	0,20	0,65	0,45	0,70	0,40	0,85	0,35	0,70	0,40

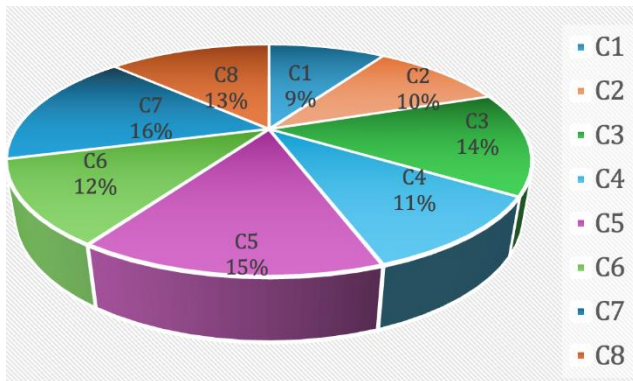
Başlangıç karar matrisinden Denklem (9) kullanılarak skor değerleri ve Denklem (11) kullanılarak normalize edilmiş matris elde edilir. Normalize edilmiş matris Tablo 5'te verildiği gibidir. Belirlenen kriterlerden satın

alma maliyeti, dönme yarıçapı, ürünün boyutları ve şarj süresi maliyet yönlü tanımlanırken, geriye kalan kriterler fayda yönlü olarak tanımlanmıştır.

Tablo 5. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

\widehat{k}_{ij}	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇	C ₈
A ₁	0,6845	0,6913	0,0000	1,0000	0,3087	1,0000	0,3498	1,0000
A ₂	0,3016	0,4696	0,2975	0,1363	1,0000	0,8555	0,0000	0,5910
A ₃	0,5179	0,1174	1,0000	0,5067	0,3725	0,6010	0,0000	0,1360
A ₄	0,8254	0,8478	0,5067	0,5912	0,5304	0,7389	0,3498	0,5070
A ₅	0,0000	0,0000	0,2975	0,2975	0,8826	0,0000	1,0000	0,0000
A ₆	0,2143	0,4696	0,1363	0,0000	0,0000	0,1724	0,0000	0,7980
A ₇	1,0000	1,0000	0,7985	1,0000	0,3725	0,3498	0,1724	0,5910

Normalize karar matrisi elde edildikten sonra, her bir kritere ait standart sapma ve kriter çiftleri arasındaki korelasyon katsayısı sırasıyla Denklem (12) ve Denklem (14) kullanılarak elde edilmiştir. Daha sonra Denklem 15 kullanılarak Toplam bilgi (I_j) hesaplanmıştır. Denklem (16) kullanılarak objektif kriter ağırlıkları hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kriter Ağırlıkları

Şekil 1 incelendiğinde şarj süresi (0,163) en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Bir otonom forkliftin bataryasının bitip iş yapamaz hale gelmesi ve yeniden

bataryanın şarj edilmesi için geçen süre yapılacak olan işi etkileyeceğinden bu kriter önemli bir kriterdir. İkinci sırada ise dönme yarıçapı (0,148) gelmektedir. Otonom forklift ne kadar küçük bir dönme yarıçapına sahipse o kadar esnek ve hızlı hareket edecektir. Bu da operasyonların daha etkili ve verimli olarak yönetilmesine etki edecektir. Üçüncü sırada ise otonom forkliftin maksimum olarak kaldırabileceği yük miktarı (0,144) kriteri gelmektedir. Operasyon esnasında taşınabilecek maksimum yük miktarına bağlı olarak çalışma süresi değişecektir. Bu kriterler içerisinde en düşük ağırlık değerine sahip olan ürün satın alma maliyetidir. İşletmeler yoğun rekabet ve ileri teknolojik gelişmeler ile yenilikçi ve rekabetçi projelere yatırım yaparken maliyet kalemini göz ardı edebilmektedirler. Yapılan bu yatırım ile işletmeler daha fazla kazanç sağlayabilmektedirler.

4.3. Alternatiflerin Değerlendirilmesi

Bu bölümde çalışmaya konu olan farklı markalara ait yedi otonom forklift Pisagor bulanık sayılara dayanan MARCOS yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve alternatif olan forkliftler sıralanmıştır. Probleme ait başlangıç karar matrisi Tablo 4'te verildiği gibidir.

Başlangıç karar matrisine ideal ve anti ideal çözüm değerleri ilave edilerek genişletilmiş Pisagor bulanık sayılara dayalı karar matrisi oluşturulur. Denklem (19) ve (20) kullanılarak ideal ve anti ideal çözüm kümeleri elde edilir. Denklem (21) kullanılarak hesaplanan normalize karar matrisi kriter ağırlıkları ile çarpılarak

(Denklem (22)) ağırlıklandırılmış normalize karar matrisi elde edilir. Denklem (23) ve (24) kullanılarak alternatiflerin ideal ve anti ideal çözüme göre fayda dereceleri hesaplanır. Daha sonra Denklem (26) kullanılarak fayda fonksiyonu hesaplanır. Sonuçlar Tablo 6'da verildiği gibidir.

Tablo 6. Alternatiflere ait Değerlendirme Sonuçları

Alternatifler	S_i	K_i^+	K_i^-	$F(K_i^+)$	$F(K_i^-)$	$F(K_i)$	Sıralama
A ₁	6,7189	1,0168	1,0110	0,4986	0,5014	0,0060	2
A ₂	6,4446	0,9753	0,9698	0,4986	0,5014	0,0053	4
A ₃	6,2414	0,9445	0,9392	0,4986	0,5014	0,0048	6
A ₄	6,6743	1,0101	1,0043	0,4986	0,5014	0,0058	3
A ₅	6,2858	0,9513	0,9459	0,4986	0,5014	0,0049	5
A ₆	5,9663	0,9029	0,8978	0,4986	0,5014	0,0042	7
A ₇	6,8696	1,0396	1,0337	0,4986	0,5014	0,0064	1

Tablo 6 incelendiği zaman hesaplanan fayda fonksiyon değerlerine göre bütün alternatifler büyükten küçüğe doğru sıralanmış ve ilk sırada A₇ alternatifinin olduğu tespit edilmiştir. Farklı sektörlerde ve farklı ürünlerle Kuzey Amerika'da faaliyet gösteren firmaya ait olan otonom forklift belirlenen kriterler ışığı altında en iyi alternatif olarak belirlenmiştir. Fayda fonksiyon değerlerine göre elde edilen sıralama A₇>A₁>A₄>A₂>A₅>A₃>A₆ şeklindedir.

4.4. Duyarlılık Analizi

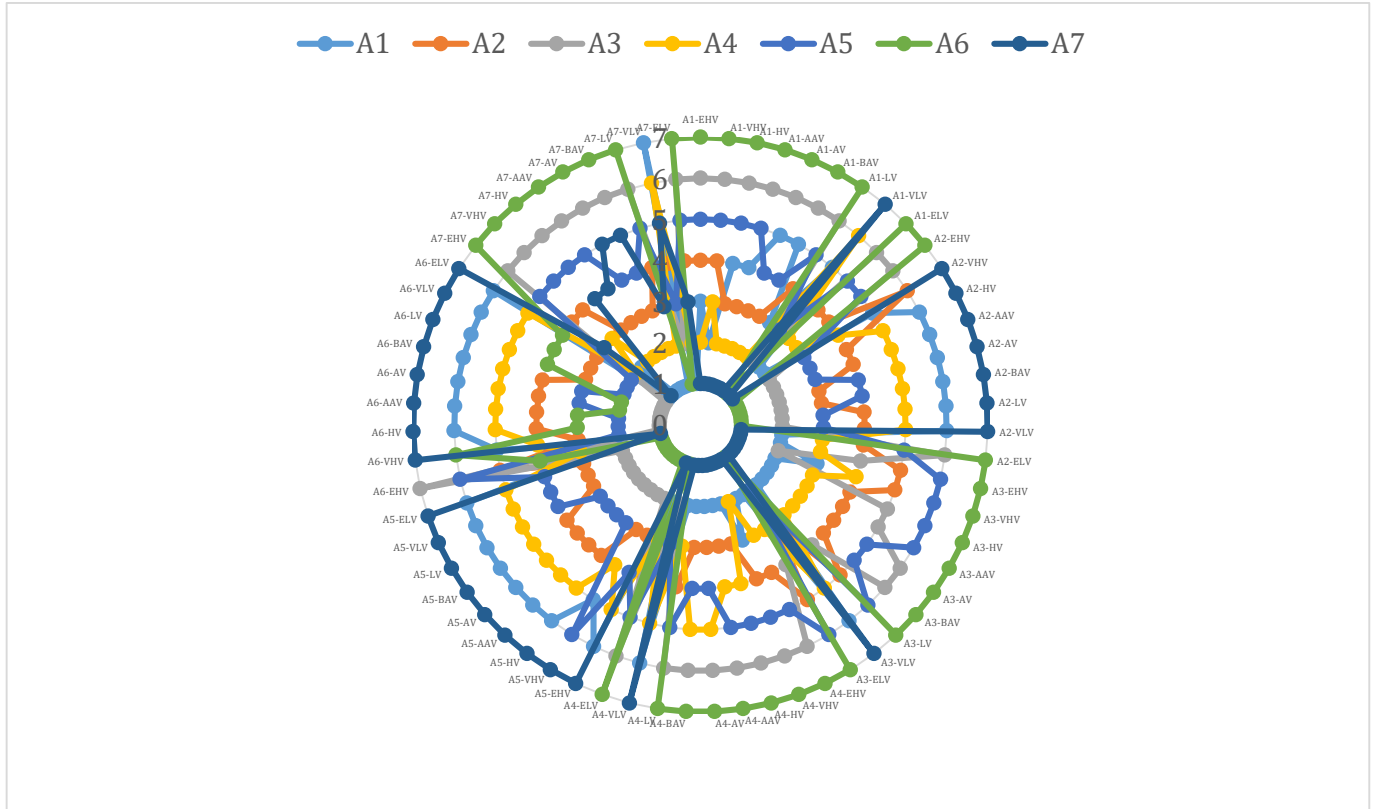
Duyarlılık analizi, parametrelerin değiştirilmesi ile çözümün nasıl etkileyeceğinin analizidir. Bu bağlamda, bu bölümde alternatiflerin her bir kriterle değerlendirme ölçekleri "çok çok yüksek değerli (EHV)" "çok çok düşük değerli (ELV)" kadar değiştirilmiş ve alternatiflerin sıralamalarında meydana gelen değişim Şekil 2'de verildiği gibi elde edilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde normalde ilk sırada yer alan A₇ alternatifi, A₁ alternatifinin "EHV", "VHV", "HV", "AAV", "AV", "BAV", "LV", ve "ELV" değerleri alması durumunda; A₂ alternatifinin "ELV" ve "EHV" değerleri alması durumunda; A₃ alternatifinin "ELV", "LV", "BAV", "AV", "AAV", "HV", "VHV", "EHV" alması durumunda; A₄ alternatifinin ise "ELV", "LV", "BAV", "AV", "AAV", "HV", "VHV", "EHV" alması durumunda yine ilk sırada yer almıştır. İkinci sırada yer alan A₁ alternatifi yalnızca A₇ alternatifinin tüm kriterler için "HV", "AAV", "AV", "BAV", "LV" ve "ELV" değerleri için ilk sırada yer almış, onun dışındaki değerlendirmeler için en iyi ikinci sırada yer almak üzere farklı sıralamalar da elde edilmiştir. A₇ ve A₁ alternatiflerinin sıralamalarının aldıkları değerlere göre birbirini etkilediği görülmektedir.

4.5. Karşılaştırmalı Analiz

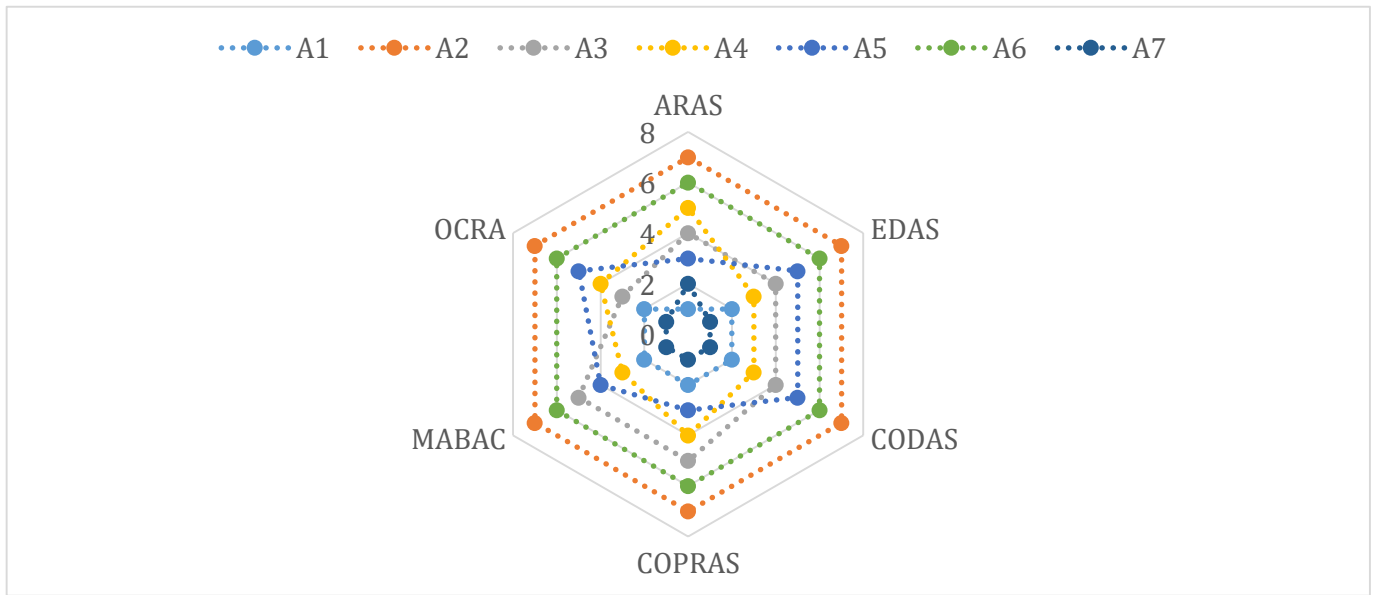
Aynı problem farklı ÇKKV yöntemleri ile de çözülmüş ve alternatif sıralamaları Şekil 3'te verildiği gibi elde edilmiştir. Problemden kullanılan farklı ÇKKV yöntemlerinin çözümü için Python programlama dili kullanılmıştır. Kullanım esnasındaki kolaylığı ve yüksek işlevselliği nedeniyle Python dili kullanılarak farklı ÇKKV yöntemleri için problemin çözümü yapılmıştır. Bu sayede problem kısa sürede farklı senaryolar ışığı altında kolaylıkla çözülebilmektedir. Karşılaştırmalı analiz için kullanılan yöntemlere ait özellikler Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Karşılaştırma Analizde Kullanılan Yöntemlerin Temel Özellikleri

Yöntem	Özellik
OCRA (Operational Competitiveness Rating)	İdeal çözüm ile benzerlik analizi temeline dayanır.
CODAS (COMbinative Distance-based ASsessment)	Uzlaşık çözümler sunma temeline dayanır.
COPRAS (Complex Proportional Assessment)	Orantılı değerlendirme yapma temeline dayanır.
EDAS (Evaluation based on Distance from Average Solution)	Ortalama çözüme olan mesafe temeline dayanır.
ARAS (AdditiveRatioASsessment))	Toplam oranları değerlendirme temeline dayanır.
MABAC (Multi-Attributive Border App- roximation Area Comparison))	Sınırların yaklaşıma göre karar verme temeline dayanır.



Şekil 2. Duyarlılık Analizi Sonuçları



Şekil 3. Farklı ÇKKV Yöntemlerine Göre Alternatiflerin Sıralanması

Tüm yöntemler için A₇ alternatifi ilk sırada yer alırken sadece ARAS (AdditiveRatioAssessment) yönteminde ikinci sırada yer almıştır. A₂ alternatifi ise tüm ÇKKV yöntemleri için hep en son sırada yer almıştır. A₁ alternatifi ise tüm yöntemler için ikinci sırada yer alırken sadece ARAS yönteminde ilk sırada yer almıştır. MARCOS yönteminde elde edilen sıralama ile diğer ÇKKV yöntemleri için Spearman's sıralama korelasyon katsayısı hesaplandığında, MARCOS-ARAS sıralamaları

için orta dereceli (0,57) ilişki tespit edilmişken, diğer tüm yöntemler ile MARCOS sıralaması arasında (>0,75) güçlü bir ilişki tespit edilmiştir. Her ÇKKV yönteminin işlem adımları, belirsizlik ve hata toleransları farklı olduğundan farklı sıralama sonuçları elde edilebilir. ARAS yönteminde alternatiflere ait fayda fonksiyonu optimum durumdaki alternatifin fayda fonksiyonu değeri ile kıyaslanmaktadır. Bu tür farklılıklar nedeniyle alternatif sıralamalarda bazı değişiklikler olabilir.

5. Sonuçlar

Gelişen teknoloji ve artan rekabet koşulları altında işletmeler tedarik zincirleri ve tüm operasyonlarının sürdürülebilirliği için yenilikçi yaklaşımları benimsemektedirler. Bu noktada işletmeler yatırım yapmaktan çekinmemektedirler. Bu yeni yaklaşımlar ile verimlilik artırılırken ayrıca işletmenin devamlılığını sağlanmaktadır. Tüm bu faaliyetler de çevreyi korumak için de çaba sarf edilmektedir.

İşletme içi ve depolarda yaygın olarak kullanılmaya başlayan otonom forkliftler de bu uygulamalara örnek olarak verilebilir. İşletmeler daha uzun soluklu, daha verimli ve efektif çalışma koşulları için bünyelerine bu uygulamaları dahil etmektedirler. Bu çalışmada, piyasada ticari olarak satışı mevcut olan, farklı üreticilere ait olan otonom forkliftlerin değerlendirmesi ele alınmıştır. Bir işletme sahibi, otonom bir forklift almak istediğinde bu karar verme sürecinde nelere dikkat etmelidir ve en iyi olanı nasıl belirlemelidir sorularının yanıtını vermek üzere bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

Tipik bir ÇKKV problemi kategorisinde yer alan bu problemde farklı üreticiler tarafından satışı olan yedi farklı otonom forklift belirlenen sekiz farklı kriter için değerlendirilmiştir. Bu sekiz farklı kriterin belirlenmesinde üreticilerin satış danışmanlarından ve literatürden faydalanılmıştır. Çalışılan problemdeki belirsizlik ve subjektifliğin üstesinden gelebilmek için ise bulanık mantık kullanılmıştır. Değerlendirme kriterleri olarak satın alma maliyeti, maksimum kaldırma yüksekliği, maksimum yük kaldırma kapasitesi, yüklü iken maksimum hız, dönme yarıçapı, forkliftin boyutları, şarj süresi, çalışma süresi belirlenmiştir. Kriter ağırlıklarının belirlenmesinde Pisagor bulanık sayılara dayanan CRITIC yöntemi kullanılmış ve sonuç olarak şarj süresi (0,163) en önemli kriter olarak belirlenmiştir. İkinci sırada ise dönme yarıçapı (0,148) ve üçüncü sırada ise otonom forkliftin maksimum olarak kaldırabileceği yük miktarı (0,144) kriteri gelmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar ile kıyaslandığında otonom olmayan forkliftlerin seçiminde genellikle ürün maliyeti, kaldırma yüksekliği, yükleme kapasitesi, forklift hızı, motor gücü gibi kriterler seçim kriterleri olarak belirlenmiştir. Bu kriterlere göre yedi farklı alternatif için Pisagor bulanık sayılara dayanan MARCOS yöntemi kullanılmış ve Kuzey Amerika'da üretilen ve küresel ölçekte marka tanınırlığı olan A7 alternatifi en iyi otonom forklift olarak belirlenmiştir. Aynı problem farklı ÇKKV yöntemleri ile de çözüldüğünde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Problemde farklı değerlendirme sonuçlarına göre çözümün nasıl değişeceğini göstermek üzere duyarlılık analizi yapılmış ve çoğunlukla A7 alternatifi en iyi alternatif olma özelliğini korumuştur.

Çalışma için karşılaşılan en büyük zorluk verinin toplanması sürecinde olmuştur. Piyasada mevcut farklı

üreticilere ait daha fazla sayıda otonom forkliftler mevcuttur. Ancak üreticiler ile sağlıklı iletişim kurulamamış ve istenilen bilgilere ulaşılamamıştır.

Gelecek dönemler için aynı problem daha fazla kriterler dikkate alınarak daha fazla sayıda alternatif için çalışılabilir. Otonom forkliftleri kullanmış ve deneyimlemiş tecrübeli kullanıcılar tarafından oluşturulan bir karar verici takım ile sadece ürüne ait teknik özellikler değil ayrıca kullanıma yönelik farklı kriterler de probleme dahil edilebilir. Örneğin forkliftlere ait geri ödeme süreci, garanti şartları, bakım maliyetleri gibi farklı kriterlerinde probleme ilave edilmesi daha sağlıklı olacaktır. Ayrıca farklı bulanık kümeler için de aynı problem çözülerek sonuçlar karşılaştırılabilir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Elif ÇALOĞLU BÜYÜKSELÇUK, bilimsel yayın araştırması, makalenin oluşturulması, yazılması, görselleştirilmesi, tüm yöntemlerin uygulanması, makalenin sonuçlarının hazırlanması konularında katkı sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Abdellatif, M., Shoeir, M., Talaat, O., Gabalah, M., Elbably, M., & Saleh, S. (2018). Design of an autonomous forklift using kinect, MATEC Web Conference, 1-5, Malezya. doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815304005>
- Abuzied, H., Nazih, N., & Sahbel, A. (2024). Design and simulation of eco-friendly smartphone controlled forklift. Heliyon, 10, e30682. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30682>
- Ahmed, I., Jeon, G., & Piccialli, F. (2022). From artificial intelligence to explainable artificial intelligence in industry 4.0: A survey on what, how, and where. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 18(8), 5031-5042. doi: <https://doi.org/10.1109/TII.2022.3146552>
- Amio, F. F., Ahmed, N., Jeong, S., Jung, I., & Nam, K. (2024). Optimizing precision material handling: Elevating performance and safety through enhanced motion control in industrial forklifts. Electronics, 13(9), 1732. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics13091732>

- Atalık, G. & Senturk, S. (2019). A new ranking method for triangular intuitionistic fuzzy number based on gergonne point. *Nicel Bilimler Dergisi*, 1(1), 59-73. doi: <https://orcid.org/0000-0002-9503-7388>
- Ayçin, E. ve Arsu, T. (2022). Sosyal gelişme endeksine göre ülkelerin değerlendirilmesi: MEREC ve MARCOS yöntemleri ile bir uygulama. *İzmir Yönetim Dergisi*, 2(2), 75-88. doi: <https://doi.org/10.56203/iyd.1084310>
- Bhat, A., Kai, N., Suzuki, T., Shiroshima, T., & Yoshida, H. (2023). An advanced autonomous forklift based on a networked control system. *IFAC Papers Online*, 56(2), 11444-11449. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2023.10.432>
- Birkocak, D. T., Acar, E., Bakadur, A. Ç., Ütebay, B., & Özdağoğlu, A. (2023). An application of the MARCOS method within the framework of sustainability to determine the optimum recycled fibre-containing fabric. *Fibers and Polymers*, 24(7), 2595-2608. doi: <https://doi.org/10.1007/s12221-023-00197-6>
- Chen, Y., Zhong, J., Mumtaz, J., Zhou, S., & Zhu, L. (2023). An improved spider monkey optimization algorithm for multi-objective planning and scheduling problems of PCB assembly line. *Expert Systems with Applications*, 120600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120600>
- Choi, M., Ahn, S., & Seo, J. O. (2020). VR-Based investigation of forklift operator situation awareness for preventing collision accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 136, 105404. doi: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.105404>
- Demirci, A. ve Manavgat, G. (2021). Veri zarflama analizi, TOPSIS ve VIKOR teknikleriyle forklift aracı seçimi: Karma model önerisi. *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 3(1). <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1223229>
- Dey, B. K., Bhuniya, S., & Sarkar, B. (2021). Involvement of controllable lead time and variable demand for a smart manufacturing system under a supply chain management. *Expert Systems with Applications*, 184, 115464. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.115464>
- Diakoulaki, D., Mavrotas, G., & Papayannakis, L. (1995). Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method. *Computers & Operations Research*, 22(7), 763-770. doi: [https://doi.org/10.1016/0305-0548\(94\)00059-H](https://doi.org/10.1016/0305-0548(94)00059-H)
- Ersoy, N. (2022). Kriter ağırlıklandırma yöntemlerinin ÇKKV sonuçları üzerindeki etkisine yönelik gerçek bir hayat uygulaması. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 11(4), 1449-1463. doi: <https://doi.org/10.33206/mjss.1026666>
- Ertemel, A. V., Menekse, A., & Camgoz Akdag, H. (2023). Smartphone addiction assessment using Pythagorean fuzzy CRITIC-TOPSIS. *Sustainability*, 15(5), 3955. doi: <https://doi.org/10.3390/su15053955>
- Fazlollahtabar, H., Smailbašić, A., & Stević, Ž. (2019). FUCOM method in group decision-making: Selection of forklift in a warehouse. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 49-65. doi: <https://doi.org/10.31181/dmame1901065f>
- Görçün, Ö. F., Ulutaş, A., Topal, A., & Ecer, F. (2024). Telescopic forklift on through a novel interval-valued Fermatean fuzzy PIPRECIA-WISP approach. *Expert Systems with Applications*, 255, 124674. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2024.124674>
- Gurralla, K. R., Helmy, M., & Ndiaye, M. (2022). Edible packaging selection employing hybrid CRITIC and TOPSIS method, 2022 International Conference On Decision Aid Sciences And Applications (DASA), 822-826, Tayland. doi: <https://doi.org/10.1109/DASA54658.2022.976501>
- Keleş, N. (2023). A multi-criteria decision-making framework based on the MEREC method for the comprehensive solution of forklift selection problem. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İİBF Dergisi*, 18(2), 573-590. doi: <https://doi.org/10.17153/oguibf.1270016>
- Liaw, C. F., Hsu, W. C. J., & Lo, H. W. (2020). A hybrid MCDM model to evaluate and classify outsourcing providers in manufacturing. *Symmetry*, 12(12), 1962. doi: <https://doi.org/10.3390/sym12121962>
- Liu, Z. (2023). Selecting renewable desalination using uncertain data: an MCDM framework combining mixed objective weighting and interval MARCOS. *Water Supply*, 23(4), 1571-1586. doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2023.049>
- Lopez, J., Zalama, E., & Gomez-Garcia-Bermejo, J. (2022). A simulation and control framework for AGV based transport systems. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 116, 102430. doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2021.102430>

- Market Research Future. (2024). Erişim adresi: https://www.marketresearchfuture.com/reports/autonomous-forklift-market-21410/?utm_term=&utm_campaign=&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=2893753364&hsa_cam=20993525697&hsa_grp=159373415435&hsa_ad=690148612733&hsa_src=g&hsa_tgt=dsa-2295322977996&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1
- Mishra, A. R., Rani, P., Pamucar, D., & Saha, A. (2023). An integrated Pythagorean fuzzy fairly operator-based MARCOS method for solving the sustainable circular supplier selection problem. *Annals of Operations Research*, 1-42. doi: <https://doi.org/10.1007/s10479-023-05453-9>
- Mitra, A. (2022). Cotton fibre selection based on quality value using measurement of alternatives and ranking according to compromise solution (MARCOS) method. *Research Journal of Textile and Apparel*, 28(2), 299-316. doi: <https://doi.org/10.1108/RJTA-03-2022-0030>
- Mohammadpour, M., Kelouwani, S., Gaudreau, M. A., Zeghmi, L., Amamou, A., Bahmanabadi, H. ... Graba, M. (2024). Energy-efficient motion planning of an autonomous forklift using deep neural networks and kinetic model. *Expert Systems with Applications*, 237, 121623. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121623>
- Pamučar, D. & Ćirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using multi-attributive. *Expert Systems with Applications*, 42(6), 3016-3028. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2014.11.057>
- Sarıçalı, G. ve Kundakçı, N. (2017). Forklift alternatiflerinin KEMIRA-M yöntemi ile değerlendirilmesi. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 4(1), 35-53. doi: <https://doi.org/10.17541/optimum.285053>
- Saxena, P., Kumar, V., & Ram, M. (2022). A novel CRITIC-TOPSIS approach for optimal selection of software reliability growth model (SRGM). *Quality and Reliability Engineering International*, 38(5), 2501-2520. doi: <https://doi.org/10.1002/qre.3087>
- Shete, R. G., Kakade, S. K., & Dhanvijay, M. (2021). A blind-spot assistance for forklift using ultrasonic sensor, 2021 IEEE International Conference on Technology, Research, and Innovation for Betterment of Society (TRIBES), 1-4, Hindistan. doi: <https://doi.org/10.1109/TRIBES52498.2021.9751672>
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COmpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231>
- Toktaş Palut, P. ve Okçuoğlu, F. (2019). Depo tasarımı ve yerleşimi: Bir gerçek hayat uygulaması. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12(2), 14-22. doi: <https://doi.org/10.20854/bujse.577992>
- Trung, D. D. (2022). Development of data normalization methods for multi-criteria decision making: applying for MARCOS method. *Manufacturing Review*, 9, 22. doi: <https://doi.org/10.1051/mfreview/2022019>
- Tuş, A. & Aytaç Adalı, E. (2019). The new combination with CRITIC and WASPAS methods for the time and attendance software selection problem. *Opsearch*, 56, 528-538. doi: <https://doi.org/10.1007/s12597-019-00371-6>
- Ulutaş, A., Karabasevic, D., Popovic, G., Stanujkic, D., Nguyen, P. T., & Karaköy, Ç. (2020). Development of a novel integrated CCSD-ITARA-MARCOS decision-making approach for stackers selection in a logistics system. *Mathematics*, 8(10), 1672. doi: <https://doi.org/10.3390/math8101672>
- Ulutaş, A., Topal, A., Karabasevic, D., & Balo, F. (2023). Selection of a forklift for a cargo company with fuzzy BWM and fuzzy MCRAT methods. *Axioms*, 12(5), 467. <https://doi.org/10.3390/axioms12050467>
- Vorasawad, K., Park, M., & Kim, C. (2023). Efficient navigation and motion control for autonomous forklifts in smart warehouses: LSPB trajectory planning and MPC implementation. *Machines*, 11(12), 1050. doi: <https://doi.org/10.3390/machines11121050>
- Wang, Y., Wang, W., Wang, Z., Deveci, M., Roy, S. K., & Kadry, S. (2024). Selection of sustainable food suppliers using the Pythagorean fuzzy CRITIC-MARCOS method. *Information Sciences*, 664, 120326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ins.2024.120326>
- Yager, R. R. (2014). Pythagorean membership grades in multicriteria decision-making. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 22, 958-965. doi: <https://doi.org/10.1109/TFUZZ.2013.2278989>
- Zadeh L. A. (1965). Fuzzy Sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353. doi: <https://doi.org/10.2307/2272014>

Zafar, S., Alamgir, Z., & Rehman, M. H. (2021). An effective blockchain evaluation system based on entropy-CRITIC weight method and MCDM techniques. *Peer-to-Peer Networking and Applications*, 14(5), 3110-3123. doi: <https://doi.org/10.1007/s12083-021-01173-8>

Zhang, D. & Wang, G. (2023). Geometric score function of Pythagorean fuzzy numbers determined by the reliable information region and its application to group decision-making. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 121, 105973. doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.105973>

Zhang, T., Li, H., Fang, Y., Luo, M., & Cao, K. (2023). Joint dispatching and cooperative trajectory planning for multiple autonomous forklifts in a warehouse: A search-and-learning-based approach. *Electronics*, 12(18), 3820. doi: <https://doi.org/10.3390/electronics12183820>

DEPREM İVME KAYITLARININ ÖLÇEKLENDİRME YÖNTEMLERİNİN ZEMİN SIVILAŞMA POTANSİYELİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Ersin GÜLER^{1*}

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Sivrihisar MYO, İnşaat Böl., ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-5679-8838>

Anahtar Kelimeler	Öz
Sıvılaşma Deprem Ölçeklendirme Sahaya özel analiz	<i>Deprem bölgelerindeki suya doymuş zeminlerin sıvılaşma riskinin belirlenmesi ve uygun önlemlerin alınması hayati önem taşımaktadır. Bu risklerin minimize edilmesi için, zeminlerin tekrarlı yükler altında göstereceği davranışın detaylı bir şekilde anlaşılması ve yapı tasarımlarında bu bilgilerin dikkate alınması gerekmektedir. Sahaya özel yapılan zemin davranış ve tepki analizleriyle her yapının kendi özelinde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bölgenin depremsellik özellikleri göz önünde bulundurularak, doğru deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve sıvılaşma analizlerinin yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtları, zaman-tanım ve frekans-tanım alanında ölçeklenebilir. Ancak, bu ölçeklendirme yöntemleri, deprem ivme kayıtlarında farklılıklara neden olabilmektedir. Bölgenin pik yer ivmesi (PGA) değerine ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2019'un bölgeye önerdiği spektral ivme grafiğine göre yapılan bu ölçeklendirmeler, deprem ivme kaydı üzerinde değişikliklere neden olmaktadır. Bu çalışmada, deprem bölgesinde yer alan bir inşaat sahasında suya doymuş zemin profili üzerinde iki farklı ölçeklendirme yöntemi de kullanılarak sıvılaşma analizleri gerçekleştirilmiş ve ölçeklendirme yönteminin sonuçlar üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu yönüyle çalışma, gelecekteki yapı tasarımlarının zemin özelliklerine göre yapılması ve deprem risklerinin azaltılması adına önemli bir katkı sağlamaktadır.</i>

INVESTIGATION OF THE EFFECT ON SOIL LIQUEFACTION ANALYSIS OF EARTHQUAKE RECORD SCALING METHODS

Keywords	Abstract
Liquefaction Earthquake Scaling earthquake Site-specific analysis	<i>It is of vital importance to determine the liquefaction risk of water-saturated soils in earthquake zones and to take appropriate measures. In order to minimize these risks, the behavior of soils under repetitive loads should be understood in detail and this information should be taken into account in building designs. Site-specific soil behavior and response analyses should be performed to evaluate each structure on its own. In addition, it is of great importance to select the correct earthquake acceleration records and perform liquefaction analyses considering the seismicity characteristics of the region. The earthquake acceleration records used in these analyses can be scaled in time-domain and frequency-domain. However, these scaling methods may cause differences in earthquake acceleration records. These scaling methods, which are based on the peak ground acceleration (PGA) value of the region and the spectral acceleration graph recommended by the Turkish Building Earthquake Code 2019 for the region, cause changes in the earthquake acceleration record. In this study, liquefaction analyses were performed on a water-saturated soil profile at a construction site located in an earthquake zone using two different scaling methods and the effect of the scaling method on the results was examined in detail. This study provides an important contribution to future building designs and mitigation of earthquake risks.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 04.07.2024

Kabul Tarihi

: 02.10.2024

Research Article

Submission Date

: 04.07.2024

Accepted Date

: 02.10.2024

* Sorumlu yazar: eguler@ogu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogumf.1510630>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Deprem bölgelerinde yer alan suya doymuş zeminlerin dinamik yükler nedeniyle boşluk suyu basıncında meydana gelen artış sonucunda zeminlerde sıvılaşma ortaya çıkabilir. Drenajsız koşullarda oluşan bu artış sonucunda zeminde büyük deformasyonlar meydana gelmekte ve bu durum yapılarda büyük hasarlara neden olmaktadır (Seed vd., 1985; Afacan 2019; Pandya ve Sachan 2019).

Zemin sıvılaşması, zemindeki kılcal boşlukların, çöküntülerin ve sıkıştırılabilir malzemelerin ani yerleşmesi sonucu oluşur. Bu durum, zeminde kısa süreli ilave boşluk suyu basıncının artmasına ve efektif gerilmenin sıfırlanmasına sebep olur, sıvılaşma mekanizması tetiklenir. Sıvılaşma nedeniyle, bölgedeki yapılar ve altyapı ciddi şekilde etkilenebilir.

Sonuç olarak yapı, zemin sıvılaşması durumunda, yapısal olarak herhangi bir problemi olmasa dahi deprem anında çökme riskiyle karşı karşıya kalabilir. Bu nedenle, deprem bölgelerinde altyapı inşaatı ve yapı tasarımı sırasında zemin sıvılaşması riski dikkate alınmalı ve uygun mühendislik çözümleri üretilmelidir. Zemin iyileştirme tekniklerinin kullanımı, uygun temel tasarımları ve yapı malzemelerinin doğru seçimi gibi uygulamalar bu çözümler arasında sayılabilir.

Deprem bölgelerinde yer alan yapıların göstereceği performans kadar yapıya zeminden gelen ivme de önemlidir. Bu konu yapı-zemin ilişkisi olarak incelenmektedir. Deprem anında zemin tabakalarından geçen dalgalar bazen büyüyerek bazen sönümlenerek yüzeye ulaşır ve yapıya iletilir. Bazende enerji, zemin tarafından sıvılaşma mekanizmasıyla sönümlenir (Hubler vd., 2018; Alnuaim vd., 2020; Chakraborty vd., 2020; Güler vd., 2021). Sıvılaşma ile zeminin kayma dayanımını tamamen kaybetmesi sonucunda yapılarda ani oturma, farklı oturma, yana yatma, dönme gibi durumlar meydana gelmekte ve yapıya büyük zarar vermektedir. Bu tür taşıma gücü kayıpları, yapı ne kadar güçlü olursa olsun büyük hasarlara neden olur. Bu sebeple sıvılaşma riski önceden tespit edilip yapılaşmadan önce çıkan sonuçlar doğrultusunda planlama kararları ve gerekli önlemler alınmalıdır (Zülküf ve Erken, 2009; Yu vd., 2018; Mase vd., 2020a; Mase vd., 2020b).

Avrupa'nın en önemli deprem kuşaklarından biri olan Türkiye, Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) nedeniyle tarihte pek çok depreme maruz kalmıştır. KAFZ tek bir kayma düzlemine sahip değildir ve birçok parçadan oluşmaktadır. Fay hattı doğrultu atımlı ve sağ yönlü bir faydır (Tekin, 1969). Bölgede yakın zamanda meydana gelen 1999 Kocaeli (Mw: 7.4) ve Düzce (Mw: 7.2) depremleri incelendiğinde, sıvılaşma ve zemin büyütme etkileri nedeniyle zeminde büyük deformasyonların ve sonuç olarak taşıma gücü kaybının ortaya çıktığı görülmüştür (Kutanis ve Bal, 2006).

Deprem ivme kayıtları, depremin zaman içindeki ivme değişimlerini belirlemek için kullanılan veri kaynaklarıdır. Bu kayıtlar, deprem sırasında yer yüzeyinin hızlı hareketlerini ölçer ve yapıların deprem performansını analiz etmek için temel bilgi sağlar. Ancak, deprem ivme kayıtları, kullanılmadan önce çeşitli yöntemlerle ölçeklendirme işlemine tabi tutulmalıdır.

İlgili literatürde "zaman-tanım" ve "frekans-tanım" alanında gerçekleştirilen ölçeklendirme yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir. Zaman-tanım alanında yapılan ölçeklendirmede, ivme kayıtları doğrudan zaman etki alanında analiz edilir. Bu tür bir ölçeklendirme yaklaşımında, depremin süresi ve pik ivme değeri gibi parametreler büyük önem taşır. İvme kayıtları, zaman-tanım alanında ölçeklendirilirken, kaydın frekans bileşenlerinde herhangi bir değişiklik yapılmaz, sadece ivme değerlerinin genlikleri değiştirilir. Bu yöntem, depremin kayıtlarda gözlemlenen temel dinamik özelliklerini koruyarak, kayıtların belirli bir hedef seviyeye uyarlanmasını sağlar.

Frekans-tanım alanında yapılan ölçeklendirmede ise, ivme kayıtları üzerinde frekans bileşenlerine dayalı değişiklikler yapılır ve bu şekilde yeni bir ivme kaydı elde edilir. Bu ölçeklendirme, Fourier dönüşümü veya dalgacık dönüşümü gibi teknikler kullanılarak, kaydın farklı frekans bileşenlerinin bağımsız olarak ayarlanmasını içerir. Bu yöntemin kullanılması, özellikle yapıların belirli frekans aralıklarındaki tepkilerini doğru bir şekilde analiz etmek için önemlidir. Frekans-tanım ölçeklendirmesi, deprem ivme kayıtlarının hedef spektral özelliklere uygun hale getirilmesini sağlar ve bu sayede sismik performans değerlendirmelerinde daha hassas sonuçlar elde edilmesine olanak tanır.

Sonuç olarak, zaman-tanım alanındaki ölçeklendirme, zaman alanında doğrudan değişiklikler yaparak ivme kayıtlarının genliklerini ayarlarken, frekans-tanım alanındaki ölçeklendirme, frekans bileşenlerinde değişiklikler yaparak kaydın spektral özelliklerini hedeflenen seviyeye getirir. Buna göre her iki ölçeklendirme yöntemi de deprem mühendisliğinde belirli analiz ve tasarım hedeflerine uygun olarak seçilmelidir. Uygun yöntemle yapılan ölçeklendirme, yapıların sismik davranışlarının daha doğru ve güvenilir bir şekilde değerlendirilmesine katkıda bulunur.

2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY 2019) deprem ivme kayıtlarının seçilmesi ve ölçeklendirmesi ile ilgili bilgiler yer almaktadır. TBDY 2019'da bölgeye önerilen spektrum ivme değerleri verilmiş ve sahaya özel analizlerin yapılması gerektiği belirtilmiştir. Ölçeklendirme yapılırken de yönetmelikte değinilen sahanın PGA (pik ivme değeri) ve spektral ivme değerleri kullanılmaktadır.

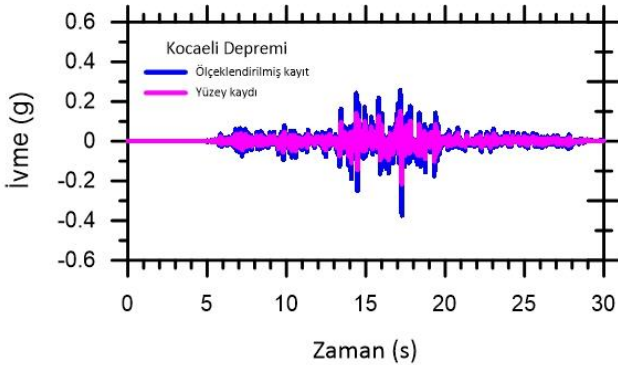
Ölçeklendirme için incelenen her iki yöntem de, doğru bir deprem ivme kaydı analizi yapmak için yapı mühendisliği, jeofizik ve afet yönetimi gibi alanlarda kullanılan standart uygulamalardır.

Bu çalışmada saha olarak seçilen Sakarya ilinin, Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde yer aldığı ve bölgedeki zemin yapısının suya doygun, kalın ve sıvılaştırılabilir nitelikte olduğu bilinmektedir. Sahanın, yer yer siltli-killi kum (SM-SC) ve düşük plastisiteli silt (ML) alüvyon tabakalarından oluştuğu bilinmektedir (Güler vd., 2021). Çalışma kapsamında öncelikle bu bölgenin depremsellik özelliklerini yansıtan 11 adet deprem ivme kaydı elde edilmiştir. Ardından iki farklı ölçeklendirme yöntemi kullanılarak ivmeler ölçeklendirilmiştir. Toplamda 22 adet doğrusal olmayan (non linear) analiz yapılmış ve sıvılaşmaya etkileri incelenmiştir.

2. Deprem İvme Kayıtlarının Ölçeklendirme Yöntemleri

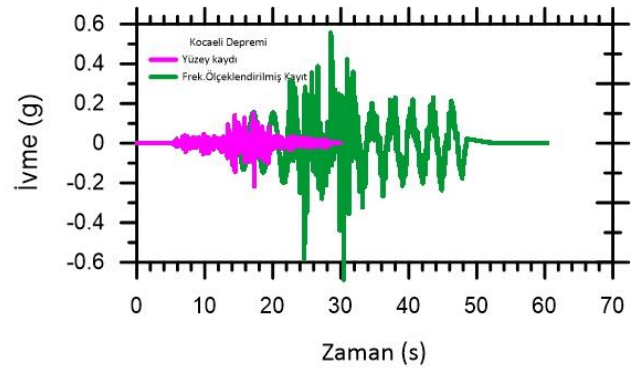
Deprem ivme kayıtlarının, deprem gözlem istasyonlarında kayıt edilmesi ile yüzey kayıtları elde edilmektedir. Deprem ivme kayıtlarının yüzeye ulaşana kadar farklı tabakalardan geçiyor olması ve değişimlere uğraması sonucunda yüzeydeki kayıtlar ile anakaya kayıtları arasında farklılıklar oluşmaktadır. Bu farklılıklar nedeniyle analizlerde bu ivme kayıtlarının yerine ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtlarının kullanılması gerekmektedir. Yüzeyde elde edilen gerçek deprem kayıtları, bölgenin tasarım ivme spektrumuna uyumlu olarak zaman-tanım alanında veya frekans-tanım alanında ölçeklenebilir (Fahjan, 2008).

Zaman-tanım alanında ölçeklendirme yapılırken, bölgeden elde edilen tasarım spektrumu ve PGA değeri ile sadece deprem ivme kaydında artırma ya da azaltma uygulanmakta, frekansında herhangi bir değişim meydana gelmemektedir. Şekil 1 incelendiğinde Kocaeli 1999 deprem kaydına ait veriler gösterilmektedir. Bölgenin PGA değeri baz alınarak yapılan ölçeklendirmede deprem süresi ve genişliğinde değişim olmadan sadece ivme büyüklüğündeki değişim görülmektedir.



Şekil 1. Kocaeli 1999 depremine ait yüzey kaydı ve basit ölçeklendirilmiş hali

İvme kayıtlarının ölçeklendirme yöntemlerinden diğer biri olan frekans-tanım alanında ölçeklendirmede ise bölgenin tasarım ivme spektrum grafiği referans alınarak ivme kaydının frekans içeriğinde değişimler meydana getirilerek deprem ivme kaydının ölçeklendirilmesidir. Bu yöntem, yapıların güvenliğini artırmak, deprem zararlarını minimize etmek ve deprem yönetmeliklerine uyumu sağlamak amacıyla vazgeçilmez bir araç olarak kabul edilmektedir. Şekil 2'de de görüleceği üzere yüzey kaydı ile ölçeklendirilmiş ivme kaydı arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Hem deprem ivme süresinde hem de içeriğinde değişimler meydana gelmiştir.



Şekil 2. Kocaeli 1999 depremine ait yüzey kaydı ve frekans-tanım alanında ölçeklendirilmiş hali

Deprem ivme kaydı ölçeklendirmesi, yapıların sismik performanslarının değerlendirilmesinden deprem tehlikesi ve risk analizlerine kadar birçok kritik alanda merkezi bir rol oynamaktadır. Belirli bir bölgedeki sismik tehlike değerlendirilirken ve yapısal performans analizleri yapılırken uygun ivme kayıtları elde edilmeli ve bu kayıtlar, bölgedeki deprem tehlikesine uygun şekilde ölçeklendirilmelidir. Ayrıca tasarıma uygun deprem yükleri de belirlenmelidir. Gerçek zemin koşullarına benzer yüklem senaryoları oluşturulması, yapıların belirli bir deprem tehlikesine karşı nasıl davranacağını anlamak için gereklidir. Bu bağlamda, ölçeklendirilmiş ivme kayıtları, gerçekçi simülasyonlar yapmayı mümkün kılarak yapısal analizlerin doğruluğunu artırır.

Ayrıca, sismik tehlike değerlendirmelerinde deprem ivme kaydı ölçeklendirmesi, bölgesel tehlike analizlerinin gerçekleştirilmesinde ve deprem risk analizlerinin yapılmasında önemli bir rol oynar. Belirli bir bölgedeki sismik tehlikenin doğru bir şekilde değerlendirilmesi, bu bölgeye özgü deprem kayıtlarının uygun şekilde ölçeklendirilmesi ile mümkündür. Böylece, olası depremlerin etkilerini daha doğru bir şekilde tahmin edilebilir ve buna göre önlemler almak mümkün hale gelir.

Mevcut yapıların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi süreçlerinde de deprem ivme kaydı ölçeklendirmesi kritik bir öneme sahiptir. Mevcut yapıların sismik performanslarının belirlenmesi ve güçlendirme

ihtiyaçlarının tespiti için ölçeklendirilmiş ivme kayıtları kullanılır. Ayrıca, deprem sonrası onarım stratejileri geliştirilirken, yapıların farklı büyüklüklerdeki depremler karşısındaki performansları da ölçeklendirilmiş ivme kayıtları ile değerlendirilir.

Deprem yönetmeliklerine uyum sağlamak amacıyla yapılan analizlerde de ölçeklendirilmiş deprem ivme kayıtları kullanılması gereklidir. Deprem yönetmelikleri ve standartlar, yapıların belirli büyüklükteki depremlere karşı performanslarının değerlendirilmesini ve bu değerlendirmelerin doğruluğunu sağlar. Bu bağlamda, ölçeklendirilmiş ivme kayıtları, yönetmeliklere uygun analizlerin yapılmasını ve böylece güvenli ve dayanıklı yapıların inşa edilmesini mümkün kılar.

Son olarak, deprem mühendisliği alanındaki araştırma ve geliştirme çalışmalarında deprem ivme kaydı ölçeklendirmesi, yeni yapı malzemeleri ve teknolojilerin sismik performanslarının test edilmesi ve sismik davranışların daha iyi anlaşılması amacıyla kullanılmaktadır. Bu yöntem, deprem mühendisliği literatürüne katkı sağlayarak, sismik güvenlik ve yapı dayanıklılığı konularında ileri düzeyde bilgi birikimi elde edilmesine olanak tanır.

Sonuç olarak, deprem ivme kaydı ölçeklendirmesi, yapı güvenliğini artırmak, deprem zararlarını azaltmak ve yönetmeliklere uyumu sağlamak amacıyla kullanılan, yapı mühendisliği ve deprem risk yönetimi alanlarında vazgeçilmez bir araç olarak kabul edilmektedir.

3. Yöntem

İnşa edilecek yeni yapılarda depreme karşı gerekli önlemlerin alınması için deprem ivme kayıtları sahaya özel zemin tepki analizlerinde kullanılır ve bölgenin depremsellik özellikleri incelenir. Sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi, Sahaya özel zemin tepki analizlerinden birisidir.

Zemin sıvılaşma potansiyeli, belirli koşullar altında zeminin katı halden sıvı hale geçebilme kapasitesini ifade eder. Genellikle kumlu ve siltli zeminlerde, özellikle yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu (yüzeye yakın) bölgelerde, deprem sırasında meydana gelen sismik titreşimlerin etkisiyle zemin sıvılaşması riski artar. Bu süreçte, zemin daneleri arasındaki boşluk suyu basıncı hızla yükselir ve zemin daneleri arasındaki bağlar zayıflar, bu da zeminin taşıma kapasitesini kaybetmesine neden olur. Sıvılaşma potansiyeli yüksek zeminler, deprem sırasında ciddi yapısal hasarlara yol açabilir çünkü zemin üzerinde bulunan yapılar ani yer değiştirmelere ve oturmalara maruz kalabilir. Zemin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi, deprem riski altındaki bölgelerde güvenli yapı tasarımı ve gerekli zemin iyileştirme önlemlerinin alınması için kaçınılmazdır.

Türkiye'nin önemli büyük şehirlerinden biri olan ve Marmara Bölgesi'nde yer alan Sakarya, deprem tehlikesi altındaki bölgelerden biridir. Özellikle Adapazarı ve çevresinde, 1999 Marmara Depremi sırasında zemin sıvılaşması nedeniyle yapılarda yıkılma ve yan yatmalar meydana gelmiştir. Sakarya ilinde bulunan alüvyonel ve nehir tortulu zeminler, yüksek yeraltı su seviyeleri ile birleştiğinde sıvılaşma potansiyelini artırmaktadır. Geoteknik mühendisleri, bu bölgede sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek için detaylı saha ve laboratuvar çalışmaları yaparak, uygun zemin iyileştirme teknikleri ve mühendislik çözümleri geliştirmelidir. Bu çalışmalar, deprem sonrası oluşabilecek hasarları minimize etmek ve bölgedeki yapıların güvenliğini artırmak için yapılır.

Bu çalışmada Sakarya ilinden elde edilen zemin profil bilgileri ile zemin sıvılaşma potansiyel risk analizleri yapılmıştır. Bölgenin depremsellik özelliklerine göre on bir adet deprem ivme kaydı seçilmiş ve ölçeklendirmesi yapılmıştır.

Zeminlerdeki boşluk suyu basıncında meydana gelen değişimin incelenmesi amacıyla DeepSoil programına profil tanımlanmış ve deprem ivme kayıtları etkilendirilmiştir. Sahadan elde edilen veriler ile Tablo 1'de gösterilen zemin profili elde edilmiştir.

Sahaya özel analizlerde seçilecek depremler, bölgenin depremsel özelliklerini yansıtmalıdır. Bina taşıyıcı sistemlerinin deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçimi, tasarıma esas deprem yer hareketi düzeyi ile uyumlu olacak şekilde deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Tasarım aşamasında yapının bulunduğu bölgede tasarıma esas deprem yer hareketi incelenmeli ve geçmişte meydana gelen deprem kayıtları varsa onlar tercih edilmelidir. Bu çalışmada, yukarıda bahsedilen özellikler dikkate alınarak tarama gerçekleştirilmiş ve Tablo 2'de gösterilen on bir adet deprem ivme kaydı elde edilmiştir.

Sakarya ilinde elde edilen verilerde AFAD tarafından bölgeye önerilen tasarım spektrum grafiği Şekil 3'te gösterilmiştir. Burada PGA 0.689 olarak elde edilmiştir (AFAD, 2024).

Yer hareketlerinin belirlenmesinde yönetmeliklerde gösterildiği üzere tasarım spektrum değerleri kullanılmaktadır. Yapı tasarımında yapıların doğal titreşim periyotları, yapıya etki edecek yatay ve düşey yüklerin belirlenmesinde kullanılır.

Tasarım spektrumları, sahanın sismik özelliklerini ve zemin koşullarını dikkate alarak, farklı deprem kuvvetlerine karşı yapıların maksimum tepkilerini belirler.

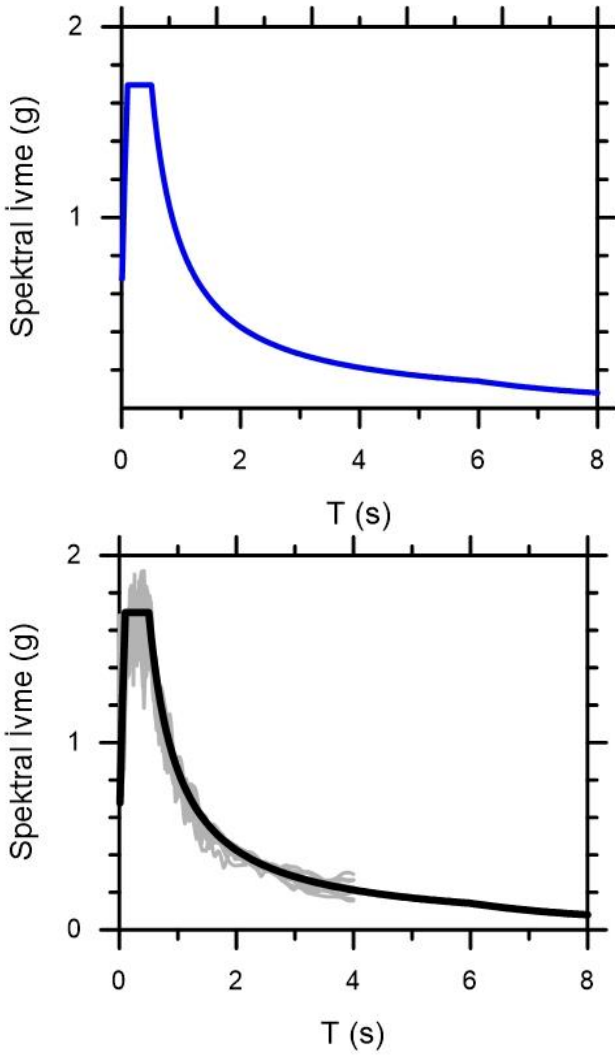
Bölgede yer altı su seviyesi yüzeye çok yakın olup, $z=0$ m olarak ele alınmıştır.

Tablo 1. Zemin profil bilgileri

Tabaka	Zemin Türü	Kalınlık (m)	Birim Ağ.(kN/m)	Vs (m/s)
1	SM	1.5	17.85	130
2	GP	1.0	17.56	130
3	SM	0.5	17.56	130
4	SM	1.5	16.09	158
5	SM	0.5	16.09	158
6	SM	1.0	15.89	158
7	SM	1.5	16.09	158
8	SM	1.5	15.99	158
9	GP	1.5	16.19	158
10	SM	1.5	16.78	158
11	SM	1.5	16.97	158
12	SM	1.5	16.87	158

Tablo 2. Seçilen deprem ivme kayıtları

No	Deprem	Yıl	Magnitüd (M)	Fay Tipi	PGA	Rjb (km)	Rrup (km)
1	"Imperial Valley-02"	1940	6.95	Doğrultu atımlı	0.280	6.09	6.09
2	"Parkfield"	1966	6.19	Doğrultu atımlı	0.443	9.58	9.58
3	"Managua_ Nicaragua-01"	1972	6.24	Doğrultu atımlı	0.371	3.51	4.06
4	"Imperial Valley-06"	1979	6.53	Doğrultu atımlı	0.484	4.9	7.05
5	"Morgan Hill"	1984	6.19	Doğrultu atımlı	0.224	11.53	11.54
6	"Kobe_ Japan"	1995	6.9	Doğrultu atımlı	0.275	11.34	11.34
7	"Kocaeli_ Turkey"	1999	7.51	Doğrultu atımlı	0.226	1.38	4.83
8	"Duzce_ Turkey"	1999	7.14	Doğrultu atımlı	0.404	0	6.58
9	"Parkfield-02_ CA"	2004	6.0	Doğrultu atımlı	0.302	4.81	5.53
10	"El Mayor- Cucapah_ Mexico"	2010	7.2	Doğrultu atımlı	0.286	8.88	10.92
11	"Darfield_ New Zealand"	2010	7.0	Doğrultu atımlı	0.461	5.07	7.11

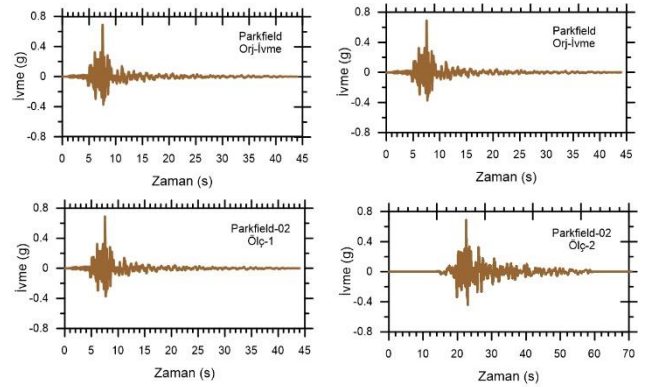


Şekil 3. Bölgenin tasarım spektrum grafiği ve seçilen depremlerin spektral ölçeklendirilmiş gösterimi

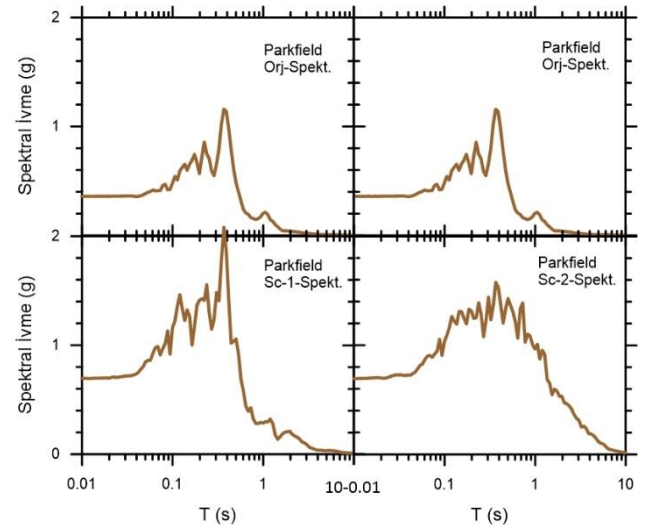
Sahaya özel analizler yapılırken bölgenin depremsellik özelliklerini yansıtan depremler seçilerek ölçeklendirilmelidir. Elde edilen deprem ivme değerleri bölgenin tasarım ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmektedir. Bu yöntemlerden ikisi zaman-tanım ve frekans-tanım alanında ölçeklendirme yöntemleridir. Zaman tanım alanındaki ölçekleme yöntemlerinde, kaydın frekans içeriği değiştirilmeden yalnızca kaydın genliği değiştirilir. Frekans tanım alanındaki ölçekleme yöntemlerinde ise, tasarım ivme spektrumuna uygun bir eş bulmak için yer hareketi kaydının frekans içeriği değiştirilir (Özdemir ve Fahjan, 2008; Fahjan, 2008).

Önceki çalışmalarda ülkelerin farklı yönetmeliklerinin belirlediği şartlara göre seçilen depremlerin ölçeklendirildiği ve analizlerde kullanıldığı görülmektedir (Alielahi ve Adampira, 2016; Ebrahimi Motlagh ve Rahai, 2017; Arslan vd., 2018). Basit

ölçeklendirme yönteminde, bölgenin PGA değeri baz alınarak zaman tanım alanında ölçeklendirme yapılmaktadır. Frekans tanım alanındaki ölçeklendirme yöntemlerinde ise tasarım ivme spektrumuna uygun olacak şekilde ölçeklendirme işlemi yapılmaktadır. Buna göre bu çalışmada TBDY 2019'un bölgeye önerdiği spektrum zarfına göre her bir deprem ivme kaydı ölçeklendirilmiştir (TBDY, 2019). Şekil 4'te iki farklı ölçeklendirme yöntemine ait ivme grafikleri gösterilmektedir.



Şekil 4. Ölçeklendirme yöntemlerinde ivme kaydının değişimi



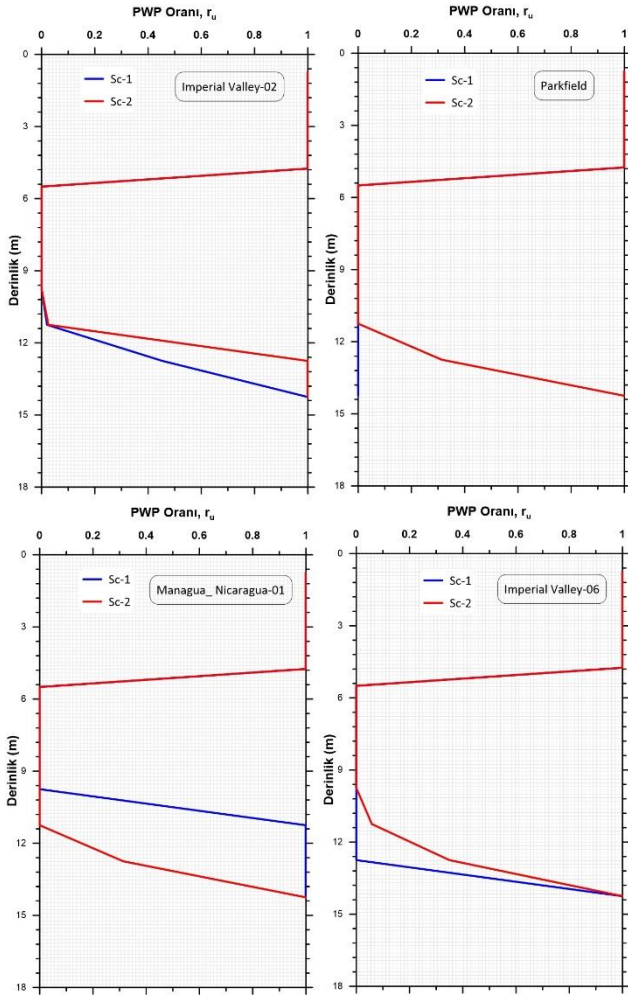
Şekil 5. Spektral ivmelerin gösterimi

Şekil 4 incelendiğinde, ölçeklendirmede kullanılan iki farklı yöntem ile yapılmış ivme kayıtları görülmektedir. Burada ilk önce zaman tanım alanında ölçeklendirme yöntemi (Sc-1) kullanılmıştır. İvme kaydında sadece oransal değişim olduğu ve ivme kaydının frekansında herhangi bir değişim olmadığı görülmektedir. Diğer yöntem ile frekans-tanım alanında (Sc-2) ise deprem ivme kaydında büyük oranda farklılıklar olduğu belirlenmiştir. Şekil 5'te ise aynı ivme kayıtlarının

spektral ivme-periyot grafiklerinde yine Sc-2 ölçeklendirme yöntemiyle yapılan spektral ivme kaydındaki farklılık gösterilmektedir.

4. Bulgular

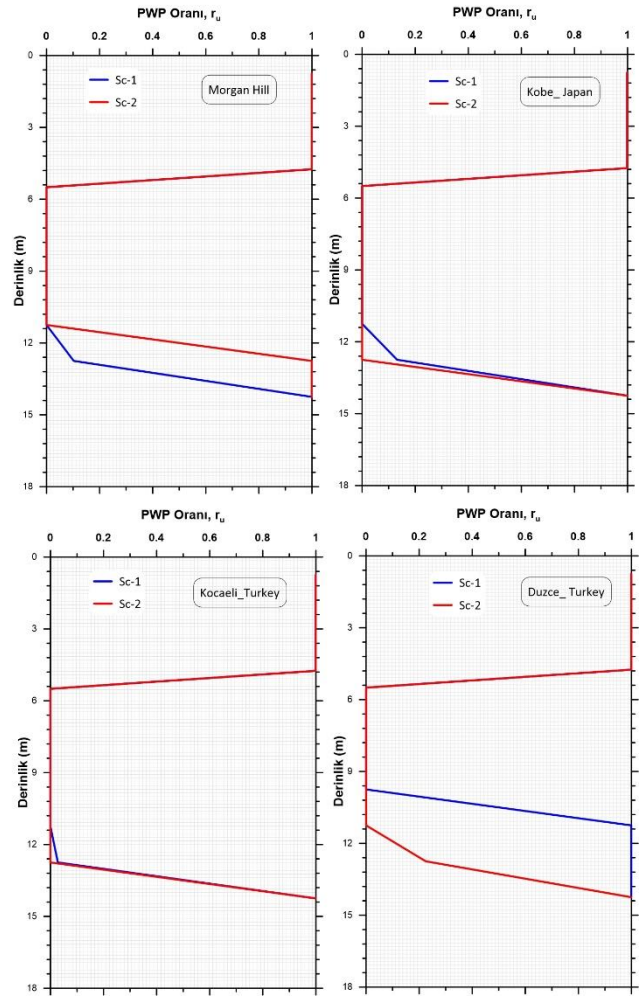
Verileri değerlendirmek amacıyla her iki ölçeklendirme yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde 11 adet deprem kaydında derinlik boyunca sıvılaşma oranı incelenmiştir. Aşırı boşluk suyu basıncı (PWP) oranı, r_u , yükleme esnasındaki boşluk suyu basıncının çevre basıncına bölünmesiyle elde edilir ve bu değer 1'e yaklaşması sıvılaşmanın tetiklendiğini gösterir.



Şekil 6. Sıvılaşmanın derinliğe bağlı değişimi-1

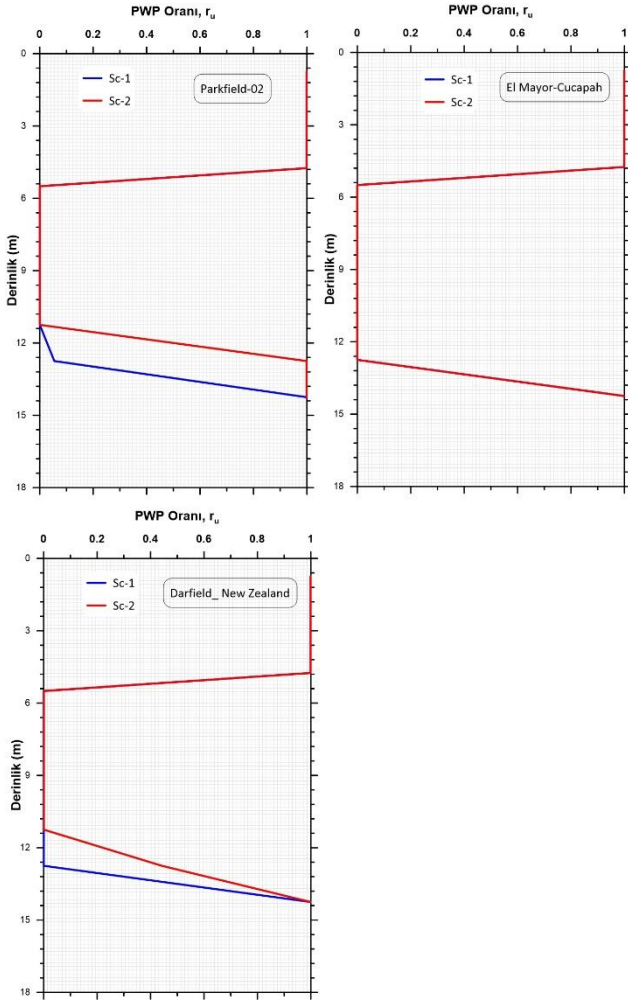
Şekil 6'da her iki ölçeklendirme yöntemi ile elde edilen derinliğe bağlı olarak aşırı boşluk suyu basıncı oranı gösterilmektedir. Managua depreminde yüzeye yakın yerlerde her iki ölçeklendirme sonucunda PWP oranı benzerlik göstermiştir. Ancak daha derinlerde farklı noktalarda sıvılaşma meydana gelmiştir.

Parkfield depreminde ise iki ölçeklendirmenin de benzer davranış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 7. Sıvılaşmanın derinliğe bağlı değişimi-2

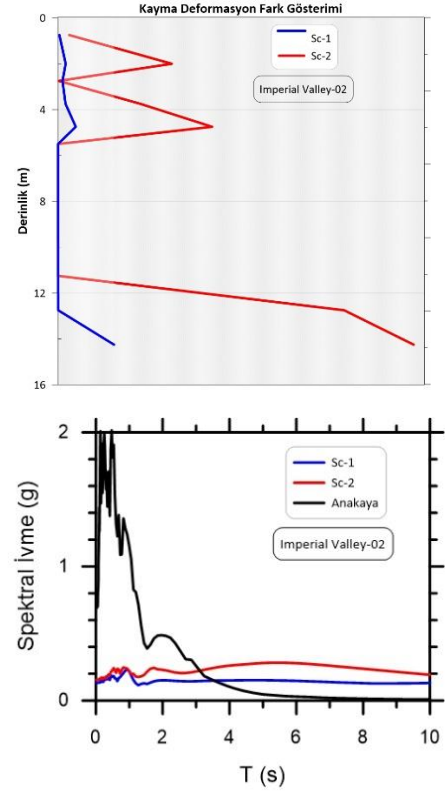
Şekil 7 incelendiğinde ise özellikle Düzce depreminde daha yüzeye yakın yerlerde sıvılaşmanın ayrıldığı görülmektedir. Diğer depremlerde ise benzer davranışların olduğu belirlenmiştir. Kocaeli depreminde ise iki ölçeklendirmenin de benzer davranış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 8. Sıvılaşmanın derinliğe bağlı değişimi-3

Şekil 8 incelendiğinde Darfield depreminde çok az da olsa farklılık olduğu belirlenmiş diğer deprem ölçeklendirmelerinde benzer davranışların olduğu belirlenmiştir. Parkfield-02 depreminde ise 12m'den sonra ölçeklendirme farkı nedeniyle farklı derinliklerde sıvılaşma görülmektedir.

Son olarak Şekil 9'da örnek bir depreme ait derinlik boyunca kayma deformasyon değişimi iki ölçeklendirme yönteminde de elde edilerek aradaki fark gösterilmiştir. Aynı zamanda yüzeydeki spektral ivme değeri incelendiğinde her iki ölçeklendirme yöntemi ile anakaya ivme değerleri karşılaştırılmıştır. Burada yüzeyde sıvılaşma meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 9. Kayma deformasyon ve spektral ivme değerlerinin ölçeklendirme yöntemlerine göre karşılaştırılması

5. Sonuçlar

Yerel zemin koşulları ile birlikte bölgenin depremsellik özelliklerini yansıtan deprem ivme kayıtlarının seçimi dikkatle yapıldıktan sonra bölgenin fay tipi, zemin koşulları, zemin yapısı incelenerek analizlerin yapılması gerekmektedir. Deprem ivme kayıtlarının analizlerde kullanılabilmesi için öncelikle ölçeklendirme yöntemlerinden yararlanılması gerekmektedir. Bu yöntemler ile yapılan analizler sonucunda farklılıklar olabilmektedir.

Yapılan analizler sonucunda;

- analizlerde kullanılan 11 adet deprem ivme kaydı incelendiğinde, yüklem tipinin zemin sıvılaşma potansiyeline farklı derinliklerde etki ettiği,
- analizlerde kullanılacak olan deprem ivme kayıtları için farklı ölçeklendirme yöntemlerinin kullanılması sonucunda analizlerde farklılıklar olduğu,
- ölçeklendirme yöntemlerinde frekans tanım alanında yapılan ölçeklendirmelerde ivme kaydında frekans değişimlerinin olduğu, zaman tanım alanında ise sadece boyut olarak farklılaştığı,
- ölçeklendirme sonucunda aynı deprem ivme kaydı ile yapılan analizlerde farklı derinliklerde farklı sıvılaşmanın gözlemlenebileceği,

- yapı tasarımından önce yapılacak olan sıvılaşma analizlerinde seçilecek deprem ivme kayıtlarının yanında ölçeklendirme yönteminin de önemli olduğu,

belirlenmiştir. Her iki yönteminde kullanılarak sıvılaşma analizlerinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Ersin GÜLER, analizlerin gerçekleştirilmesi, verilerin derlenmesi, makalenin yazılması ve düzenlenmesi aşamalarını yapmıştır.

Çıkar Çatışması

Yazar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Afacan K (2019). Estimation of excess pore pressure generation and nonlinear site response of liquefied areas. *Geotechnical Engineering - Advances in Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1-21.
- AFAD. Earthquake catalog (2024). T.C. Ministry of Interior Disaster and Emergency Management Presidency.
- Alielahi H, Adampira M, (2016). Seismic effects of two-dimensional subsurface cavity on the ground motion by BEM: Amplification patterns and engineering applications, *International Journal of Civil Engineering*, 14. 233-251.
- Alnuaim A, Alsanabani N, Alshenawy A (2020). Monotonic and cyclic behavior of salt-encrusted flat (Sabkha) soil. *International Journal of Civil Engineering*. 19. 187-198.
- Arslan G, Borekci M, Sahin B, Denizer MI, Duman KS (2018). Performance evaluation of in-plan irregular rc frame buildings based on Turkish Seismic Cod. *International Journal of Civil Eng*. 16. 323-333.
- Chakraborty P, Nilay N, Das A (2020). Effect of silt content on liquefaction susceptibility of fine saturated river bed sands. *International Journal of Civil Engineering*. 19. 549-561. 2020.
- Ebrahimi Motlagh, HR, Rahai A (2017). Dynamic response of a continuous-deck bridge with different skew degrees to near-field ground motions. *International Journal of Civil Engineering*. 5. 715-725.
- Fahjan YM, (2008). Selection and Scaling of Real Earthquake Accelerograms to Fit the Turkish

Design Spectra. *Technical J Turkish Chamb Civ Eng*. 19. 4423-4444.

- Güler E, Savas H, Afacan KB (2021). Examining The Liquefaction Potential Of Adapazari Sand Under Different Loads Adapazari. 6. *International Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. Gebze, Kocaeli, Türkiye.
- Hashash YMA, Musgrove MI, Harmon JA, Groholski D, Phillips CA, Park D (2016) DEEPSOIL V6.1, User Manual. Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Hubler JF, Athanasopoulos-Zekkos A, Zekkos D (2018). Monotonic and cyclic simple shear response of gravel-sand mixtures. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*. 115. 291-304.
- Kutanis M, Bal IE, Local soil conditions effect on structural damage distribution. In: 11th *Soil Mechanics and Foundation Engineering Congress*, Trabzon.
- Mase LZ, Likitlersuang S, Tobita T (2019). Cyclic Behaviour and liquefaction resistance of izumio sands in Osaka, Japan. *Marine Georesources Geotechnology*. 37. 765-774.
- Mase LZ, Likitlersuang S, Tobita T (2020). Verification of liquefaction potential during the strong earthquake at the border of Thailand-Myanmar. *Journal of Earthquake Engineering*. 26. 2023-2050.
- Özdemir Z, Fahjan YM (2008). Comparison of time and frequency domain scaling of real accelerograms to match earthquake design spectra. *Sixth Natl Conf Earthq Eng*.
- Pandya S, Sachan A (2019). Experimental studies on effect of load repetition on dynamic characteristics of saturated Ahmedabad cohesive soil. *International Journal of Civil Engineering*. 17. 781-792.
- Seed HB, Tokimatsu K, Harder LF, Chung RM (1985). Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. *Journal of Geotechnical Engineering*. 12. 1425-1445.
- Tekin İ (1969). Kuzey Anadolu Fayı hakkında. *MTA Journal*.
- TBDY, (2019). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018. Ankara.
- Yu S, Tamura M, Kouichi H (2018) Evaluation of liquefaction potential in terms of surface wave method The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, China.
- Zülküf K, Erken A (2009) Adapazari zeminlerinin dinamik davranış özellikleri. *İTÜ Mühendislik Dergisi*, 8, 157-168.

AKPINAR (KIRŞEHİR) YÖRESİ FELDSPAT YATAKLARI VE EKONOMİK ÖNEMİHüseyin SENDİR^{1*}, Cansu YURTSEVEN², Duru CESUR³¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-7252-7117>² Koza Altın İşletmeleri, Ankara, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8513-1357>³ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Eskişehir,ORCID No: <https://orcid.org/0009-0000-6188-8267>

Anahtar Kelimeler	Öz
Feldspat Kırşehir Masifi Akpınar Siyenit	<i>Araştırma alanı, Kırşehir Merkez ve Akpınar ilçelerine bağlı Homurlubeşler, Tatarilyasyayla, Tatarilyaskışla, Alışar, Köşker ve Çiftlikarıykaya köyleri sınırları içerisinde yer alan toplam 166,16 kilometrekarelik bir alanı kapsamaktadır. Çalışma alanındaki maden sahaları çeşitli formasyonlarda yer almaktadır. Bu formasyonlar arasında Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Kalkanlıdağ Formasyonu, yine Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Bozçaldağ Formasyonu, Santoniyen-Kampaniyen yaşlı Karahıdır Volkanik Üyesi, Kretase yaşlı intrüziflerden oluşan Buzlukdağ Siyenitoidi ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak Formasyonu yer almaktadır. Bu çalışmada, Akpınar bölgesinin feldspat potansiyelinin ortaya konulması ve ekonomiye kazandırılması amaçlanmıştır. Jeokimyasal incelemeler Akpınar feldspatlarının başlıca Si, Al, Na ve K elementlerinden oluştuğunu ortaya koymuştur. Bu feldspatlar, Al, Na ve K'nın zenginleşmesi ve Fe, Ti ve Mg'un tükenmesi ile karakterize edilen bir cevher oluşum sürecinden geçmektedir.</i>

FELDSPAR DEPOSITS AND ECONOMIC IMPORTANCE OF AKPINAR (KIRŞEHİR) REGION

Keywords	Abstract
Feldspar Kırşehir Massive Akpınar Syenite	<i>The study area covers a total area of 166.16 square kilometres within the borders of Homurlubeşler, Tatarilyasyayla, Tatarilyaskışla, Alışar, Köşker and Çiftlikarıykaya villages of Kırşehir Merkez and Akpınar districts. The mining sites in the study area are located in various formations. These formations include the Palaeozoic-Mesozoic aged Kalkanlıdağ Formation, the Palaeozoic-Mesozoic aged Bozçaldağ Formation, the Santonian-Campanian aged Karahıdır Volcanic Member, the Cretaceous aged Buzlukdağ Syenitoid consisting of intrusives and the Upper Miocene-Pliocene aged Kızılırmak Formation. In this study, it is aimed to reveal the feldspar potential of the Akpınar region and bring it into the economy. Geochemical analyses revealed that Akpınar feldspars are mainly composed of Si, Al, Na and K elements. These feldspars undergo an ore formation process characterised by enrichment of Al, Na and K and depletion of Fe, Ti and Mg.</i>

Araştırma Makalesi

Research Article

Başvuru Tarihi

: 11.07.2024

Submission Date

: 11.07.2024

Kabul Tarihi

: 02.09.2024

Accepted Date

: 02.09.2024

* Sorumlu yazar: hsendir@ogu.edu.tr<https://doi.org/10.31796/ogummf.1514543>**1.Giriş**

Feldspat mineralleri, birçok magmatik ve metamorfik kayacıkta ana bileşen olarak bulunmaktadır. Granit, siyenit ve gnays gibi kayaların yapısında önemli bir rol oynayan feldspat minerallerinin ayrışması, killi toprakların oluşumunda önemlidir. Bu minerallerin kimyasal ayrışması sonucu oluşan kil mineralleri, tarım için verimli toprakların temelini oluşturur (Klein ve Dutrow, 2007). Feldspat, çeşitli renklerde bulunabilir ve sertlik derecesi Mohs ölçeğinde 6 civarındadır. Kimyasal bileşimi genellikle potasyum, sodyum ve kalsiyum içermektedir. Bu elementler, minerallerin farklı

türlerini (örneğin, ortoklas, plajiyoklas) belirlemektedir (Deer, Howie ve Zussman, 2013).

Feldspat mineralleri dünya genelinde pek çok endüstride kritik bir öneme sahiptir. Birçok sektörde kullanılan bu mineralin başlıca sektör dağılımları aşağıda özetlenmiştir. Seramik ve cam endüstrilerinde yoğun olarak kullanılan bir mineral olan feldspat, camın ve seramiğin dayanıklılığını ve kalitesini artırır. Seramik karolar, porselen ve cam ürünlerinin üretiminde, emaye kaplamalarında, pigment ve dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır (Harben, 1995). Alüminyum içeriğinin yüksekliği, bu minerali değerli kılan bir diğer etkidir.



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Örneğin, alüminyum metalinin üretiminde kullanılan boksit cevherlerinin tükenmesi durumunda, feldispat, alternatif bir kaynak olarak değerlendirilebilir. Ayrıca feldispat yataklarının saflığı ve homojenliği, bu minerali endüstriyel işlemler için uygun hale getirmektedir. Saf feldispat yatakları, düşük demir içeriği nedeniyle cam ve seramik ürünlerinde istenen beyazlığın elde edilmesini sağlar. Feldispatın yer kabuğunda en bol bulunan minerallerden biri olması, ekonomik açıdan çekici hale gelmesini sağlamaktadır. Geniş rezervlere sahip olması, sürdürülebilir madencilik açısından son derece önemlidir. Feldispat madenciliği genellikle düşük çevresel etkiye sahip olarak kabul edilmektedir. Bu durum, çevre dostu ürünlerin üretiminde tercih edilmesini sağlar (King, 2021). Bu denli kullanım alanı

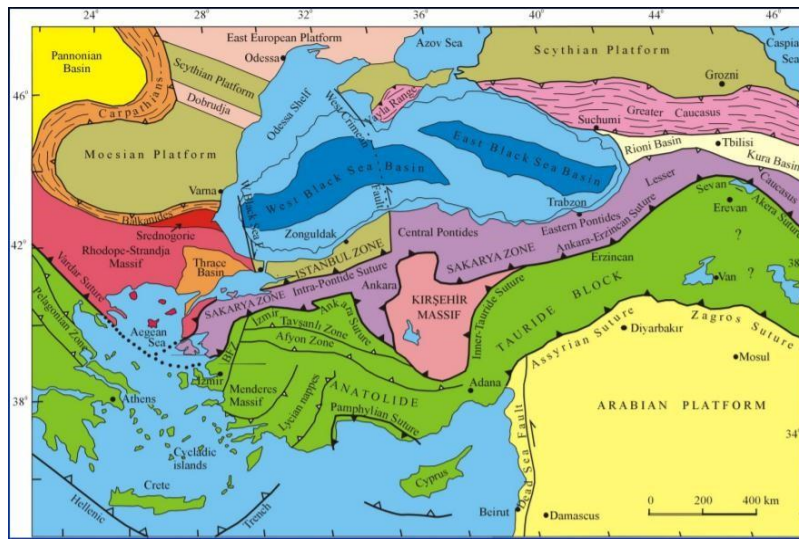
ve özelliği olan bir hammaddenin aranması ve bulunması son derece önemlidir. Bu bağlamda çalışılan feldispat yataklarının bir kısmı da Akpınar (Kırşehir) bölgesindeki yataklardır. Yataklar toplam 166,16 kilometrekarelik bir alana yayılmakta, 1/25.000 ölçekli J32-a1, J32-a2, J32-a3 ve J32-a4 paftaları içinde yer almaktadır (Şekil 1). Alan içerisinde Homurlubeşler, Tatarilyasyayla, Tatarilyaskışla, Alışar, Köşker ve Çiftlik Sarıkaya yerleşimlerini bulunmaktadır.



Şekil 1. Çalışma Alanını Gösteren Yerbulduru Haritası.

Okay ve Tüysüz (1999) Türkiye'nin tektonik birimlerini İstanbul Zonu, Rodop-Istranca Zonu, Sakarya Zonu, Torid-Anatolit Bloğu, Kırşehir Masifi ve Arap Platformu olarak sınıflandırmıştır. Torid Anatolit Platformu, İzmir-Ankara-Erzincan Kenar Zonu'nda Kırşehir Masifi'nin yanında yer almaktadır. Çalışma alanı Kırşehir Masifi içerisinde yer almaktadır. Türkiye'nin önemli

yükseltilerinden olan Kırşehir Dağı, Tuz Gölü'nün altında kesintisiz olarak uzanmaktadır. Torid Anatolit Platformu, Kırşehir Masifi'ne, yani İzmir-Ankara-Erzincan Sütur Zonu'na bitişiktir. Türkiye'nin en büyük masiflerinden biri olan Kırşehir Masifi de Tuz Gölü'nün altında kesintisiz olarak uzanmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Türkiye'nin Tektonik Birlikleri (Okay ve Tüysüz 1999'dan alınmıştır).

2. Materyal ve Metot

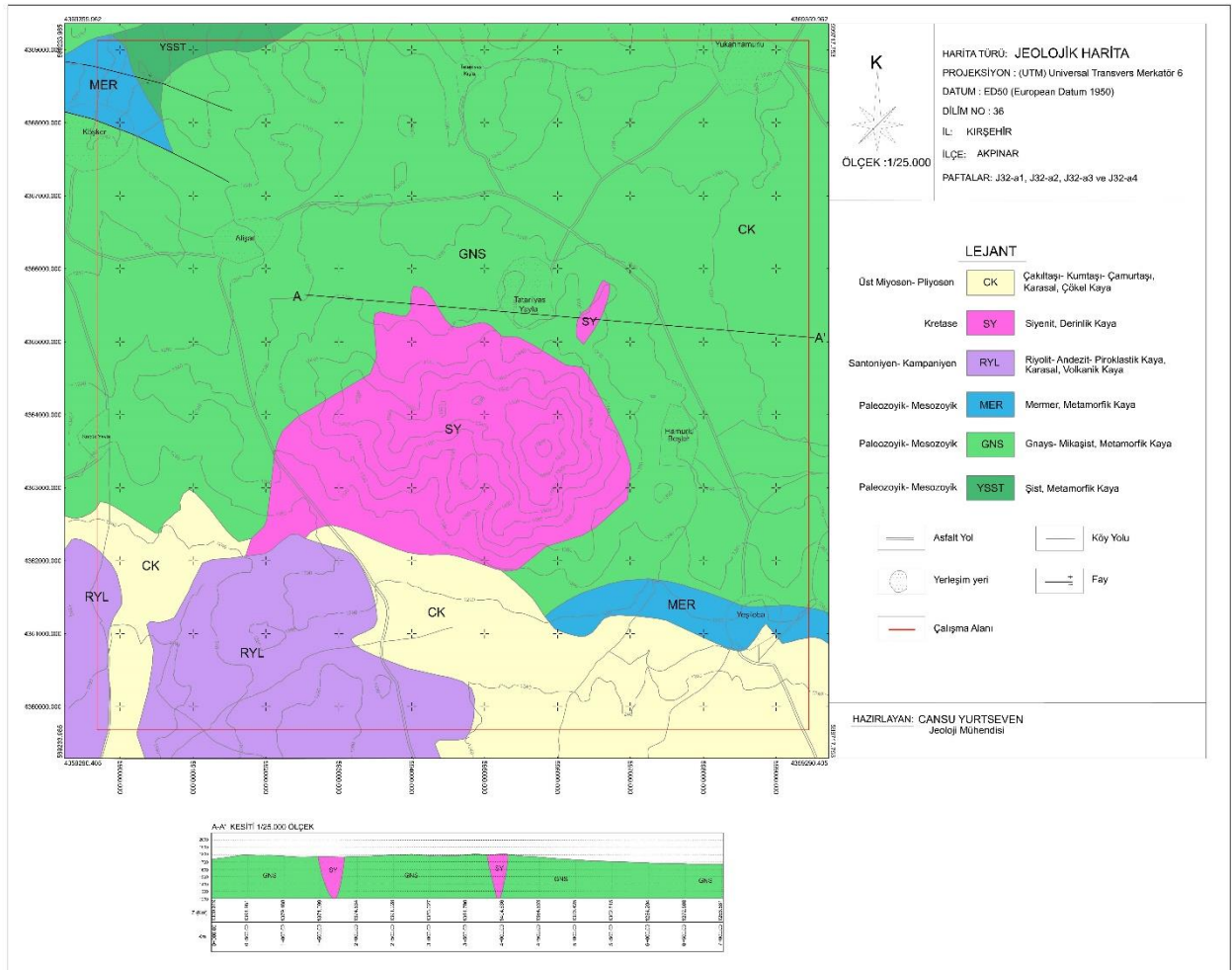
Feldspat yatak ve zuhurlarının bulunduğu bölgenin 1/25.000 ölçekli jeolojik haritası ve jeolojik enine kesitleri, maden jeolojisi özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla hazırlanmıştır (Şekil 4). Ardından çalışma alanının farklı yerlerindeki feldspat ocaklarından sistematik örneklendirmeler yapılmıştır. Alınan örneklerin analizleri B&S Maden firması tarafından XRF yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular

3.1. Bölgesel Jeoloji

Çalışma alanı, metamorfik kayalardan oluşan Kırşehir Masifi'nin varlığı ile karakterize edilir. Bu metamorfik

kayaçlar bölgedeki temel birimleri temsil etmektedir (Seymen, 1983, 1984). Bu birimler litostratigrafik özelliklerine göre formasyonlar halinde sınıflandırılmıştır. Paleozoyik kayaçların bu topluluğu, düşük ila orta basınç ve yüksek sıcaklık koşulları ile karakterize edilen yeşilist, amfibolit ve granülit fasiyesleri sergiler. Kırşehir Masifinin temelinde gnays, şist, amfibolit ve kuvarsitten oluşan metamorfik kayalardan ibaret Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Kalkanlıdağ Formasyonu bulunmaktadır (Seymen, 1982; Erkan, 1976, 1977; Tolluoğlu, 1987) (Şekil 3). Bu birimin üzerinde mermer bant ve mercerleri ile biyotit-muskovit şist, kalkışist, amfibol ve az oranda gnays, kuvarisit, amfibolit, kloritşist ve talkışisten oluşan Tamadağ Formasyonu bulunmaktadır.



Şekil 3. Çalışma Alanı ve Çevresine Ait Genel Jeoloji Haritası ve Enine Kesiti (Seymen, 1982'den değiştirilerek).

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	GRUP	FORMASYON	ÜYE	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK	TERSİYER	KUVATERNER							Alüvyon Traverten
		Eosen	PLİYOSEN		KIZILIRMAK	Mucur Kozaklı			Çamurtaşı, kumtaşı, çakıltası, kilitaşı, kireçtaşı, ignimbirit, tuf
			MIYOSEN		DELİCERMAK				Çamurtaşı, kumtaşı, çakıltası, kilitaşı
			OLİGOSEN		ÇEVİRME				Bazalt, aglomera, kireçtaşı, marn, kilitaşı
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE			BARANADAĞ PLUTONU				Siyenit
					BOZÇALDAĞ PLUTONU				Granitoyid
					KÖTÜDAĞ VOLKANİTİ				Riyolit, riyodasit, dasit
					ASMABOĞAZI				Metagabro, amfibolit, amfibolit şist
					KARTAL				Mikrogabro diyabaz, bazalt, spilit, bazik tuf, radyolarit, çört, pelajik çamurtaşı, kireçtaşı
					HACİSELİMLİ				Mermer, amfibolit-amfibolit şist aradüzeyli
PALEOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE			ÇİÇEKDAĞ				Mermer, biyotit muskovit şist, kalkşist, amfibolşist
					BOZÇALDAĞ				Mermer, amfibolit-amfibolit şist aradüzeyli
					TAMADAĞ				Mermer, biyotit muskovit şist, kalkşist, amfibolşist
					KALKANLIDAĞ			Şist, kuvarsit, amfibolit, gnays	

(MTA Jeoloji Etütleri Dairesi ve Seymen 1981)

Şekil 4. Çalışma Alanına ve Çevresine Ait Stratigrafik Kesit (MTA, 1991).

Bozçaldağ Formasyonu Paleozoyik-Mezozoyik yaşta ve açık gri ve beyaz çört, amfibolit ve amfibolit şeyden oluşan ince tabakalardan oluşur (Seymen, 1982). Bu birimin üzerinde Üst Kretase yaşlı mikrogabro, diyabaz, bazalt, çamurtaşı birimlerinden oluşan Çiçekdağ Formasyonu yer almaktadır. Ardından sırasıyla Haciselimli, Kartal ve Asmaboğazi birimleri bulunmaktadır. Metagabro, amfibolit birimleri egemendir.

Kırşehir Masifi'nin metamorfik kayaları, Santoniyen-Kampaniyen yaşlı Baranadağ Granitoyidi ve Buzlukdağ Siyenitoyidi intrüzipleri tarafından kesilmektedir. Ayan (1963), granitoidlerin yaşını Zr yaşlandırmasıyla 54 My olarak bulmuştur. Tolluoğlu (1993), Buzlukdağ Siyenitoidinin stok ve dayklar halinde yüzelediğini belirlemiştir. Baranadağ Granitoyidi orta-iri taneli, kalkalkali karakterli ve çarpışma sonrası bir oluşum olarak nitelendirilmiştir (Aydın ve Önen, 1999). İlbeyli ve Kibici (2009), İç Anadolu alkalin intrüziyon kayalarının çoğunlukla meta-alüminus, LIL, A-tipi, elementlerce

zengin olduklarını belirtmişlerdir. Ayrıca jeokimyasal özelliklerinin yitim ile değişen manto kaynağından türediğini açıklamışlardır. Tersiyer yaşlı tortullar bu birimlerin üzerine uyumsuz bir şekilde yerleşmiştir.

Alt-Orta Eosen yaşlı olan Baraklı Formasyonu çakıltaşı, çamurtaşı ve kumtaşı tabakalarından oluşmaktadır. Baraklı Formasyonu, Çevirme Formasyonu ile kronolojik olarak geçişli bir jeolojik formasyondur. Formasyon, Alt-Orta-Üst Eosen dönemine tarihlenen önemli kireçtaşı tabakaları ile kumtaşı, çamurtaşı ve silttaşı tabakalarından oluşur. Deliceirmak Formasyonu, evaporit çökellerinden köken alan karasal çakıltaşı, kumtaşı ve çamurtaşı ardalanmasından oluşmaktadır. Araştırma bölgesinin büyük bölümünde gözlenen baskın jeolojik özellik, karasal çamurtaşlarından oluşan ve Üst Miyosen-Pliyosen dönemine tarihlenen Kızıllırmak Formasyonu olarak bilinmektedir (Şekil 3) (MTA, 1991).

3.2. Çalışma Alanı Jeolojisi

Çalışma bölgesinde yer alan bir kaya grubu olan Kırşehir Masifi, en eski oluşumdur ve Paleozoyik yaşlıdır. Kırşehir Masifi bölgenin önemli bir bölümünü kaplamaktadır. Çalışma alanındaki maden sahaları, kronolojik olarak en yaşlıdan en gence doğru sıralanmış çeşitli formasyonlar içinde yer almaktadır. Bu formasyonlar Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Kalkanlıdağ Formasyonu, Paleozoyik-Mezozoyik yaşlı Bozçaldağ Formasyonu, Santoniyen-Kampaniyen yaşlı Karahıdır Volkanik Üyesi, intrüziiflerden oluşan Kretase yaşlı

Buzlukdağ Siyenitoidi ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızıllırmak Formasyonudur (Seymen, 1982) (Şekil 3).

3.3. Jeokimyasal Özellikler

Feldspat mineralizasyonları, 1, 2 ve 3 numaralı çalışma alanlarında, Kretase yaşlı bir intrüziif kaya oluşumu olan Buzlukdağ Siyenitoidinde tespit edilmiştir. (Yurtseven ve Sendir, 2022).

Kırşehir-Akpınar feldspat yataklarından toplanan örneklerin element oranları, kimyasal çalışmaların bulgularına dayanarak belirlenmiştir (Tablo-1) (Şekil 5). Örneğin, SN-6995 numaralı numunenin bileşenleri %58,13 SiO₂, %23,25 Al₂O₃, %0,97 Fe₂O₃, %0,07 TiO₂, %1,32 CaO, %0,04 MgO, %9,40 Na₂O ve %6,10 K₂O olarak belirlenmiştir. Diğer örneklerin analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Numunedeki alkali konsantrasyonu %15,50'dir. Fe ve Ti element konsantrasyonları %1'in altındadır.

Akpınar feldspatlarının ana bileşenleri silisyum (Si), alüminyum (Al), sodyum (Na) ve potasyum (K) elementlerinden oluşmaktadır. Farklı fiziksel özelliklere sahip feldspat gruplarının birincil element bileşimlerinin çok az değişiklik gösterdiği tespit edilmiştir. Bu gruplar, dar bir aralıkta meydana gelen varyasyonlarla birbirlerine yüksek derecede benzerlik gösterirler (Tablo 1). Bu verilere dayanarak, incelenen feldspat yataklarının Al, Na ve K bakımından zenginleştiğini ve Fe, Ti ve Mg bakımından fakirleştiğini söylemek mümkündür.

Tablo 1. Akpınar Feldspat Yataklarına Ait Kimyasal Analiz Sonuçlarına Göre Bileşen Oranları.

KİMYASAL ANALİZ	Örnek No: SN-6995		Örnek No: SN-6925		Örnek No: SN-9515		Örnek No: SN-9535	
	%	+/-	%	+/-	%	+/-	%	+/-
SiO ₂	58,13	1,00	58,43	1,00	63,24	1,00	63,40	1,00
Al ₂ O ₃	23,25	1,00	24,12	1,00	21,30	1,00	20,70	1,00
Fe ₂ O ₃	0,97	0,10	0,22	0,03	0,14	0,03	0,33	0,10
TiO ₂	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02
CaO	1,32	0,50	0,95	0,30	0,75	0,30	1,15	0,50
MgO	0,04	0,10	0,04	0,10	0,03	0,10	0,03	0,10
Na ₂ O	9,40	0,50	9,63	0,50	4,80	0,50	5,20	0,50
K ₂ O	6,10	0,50	6,25	0,50	9,75	0,50	9,10	0,50
T.Alkali	15,50	1,00	15,88	1,00	14,25	1,00	14,30	1,00



Şekil 5. Arazide örnekleme çalışmaları.

4. Sonuç ve Öneriler

Orta Anadolu Masifi'nin bir bileşeni olan Kırşehir Masifi, tektonik aktiviteye bağlı olarak kıvrılma ve ardından metamorfizma geçirmiştir. Kırşehir Masifi erken Paleozoyik döneminde ortaya çıkmıştır ve ortalama kalınlığı 2000 ila 2500 metre arasında değişmektedir. Bu masifin jeolojik bileşimi, dikey bir dizi halinde kristallenen fillitler, mermerler, kalkerli şistler, yeşil şistler, mika şistler ve ince taneli kuvarslardan oluşmaktadır (Okay ve Tüysüz, 1999).

Kalkanlıdağ Formasyonu ve Bozçaldağ Formasyonu'nun her ikisi de Paleozoyik-Mesozoyik yaştaadır. Karahıdır Volkanik Üyesi Santoniyen-Kampaniyen yaşındadır. Buzlukdağ Siyenitoidi Kretase yaşlı intrüziyonlardan oluşur. Kızılırmak Formasyonu Üst Miyosen-Pliyosen yaşındadır (Seymen, 1982) (Şekil 3). Feldspat yatakları, çevredeki kayaçların etkisiyle Al, Na ve K'nın zenginleşmesi ve Fe, Ti ve Mg'nin fakirleşmesiyle bağlantılı bir cevher oluşum süreciyle oluşmuştur. Sahada yapılan jeolojik araştırmalar potasyum feldspat mineralizasyonunun boyutunun -10 mm ve nem içeriğinin en fazla %5 olduğunu ortaya koymuştur. Feldspat mineral bileşimlerinin analizi, serbest silikadan yoksun olduklarını, yüksek alümina ve alkali içeriğine sahip olduklarını, yüksek erime gücüne ve dar bir erime aralığına sahip olduklarını ortaya koymuştur.

Feldspat mineral bileşimlerinin analizi, serbest silikadan yoksun olduklarını, yüksek alümina ve alkali

içeriğine sahip olduklarını, yüksek erime gücüne ve dar bir erime aralığına sahip olduklarını ortaya koymuştur. Bu işlemde elde edilen ürün, cam ve seramik endüstrisinde kullanım için son derece uygun hale getiren farklı özellikler ve bileşim sergilemektedir.

Türkiye'de birçok alanda feldspat yatakları tespit edilmiştir. Muğla-Yatağan, Türkiye'deki en önemli feldspat üretim alanlarından biridir. Bu bölgedeki yataklar, özellikle potasyum feldspat açısından zengindir. Yatağan feldspatları seramik endüstrisinde yaygın olarak kullanılır (Yılmaz ve Yüce, 2005). Aydın-Çine bölgesi, yüksek kaliteli potasyum feldspat yataklarına sahiptir. Çine feldspatları, seramik ve cam endüstrisinde hammadde olarak kullanılır (Kaya, 2009). Kütahya-Simav bölgesi özellikle albit (sodyum feldspat) açısından zengin yataklara sahiptir. Simav bölgesi, seramik sanayisine yönelik önemli bir feldspat kaynağıdır (Özgül, 2010). Manisa-Demirci bölgesi, albit açısından zengin feldspat yataklarına ev sahipliği yapar. Bu yataklar, cam endüstrisi için büyük önem taşır (Tekin ve Gündoğdu, 2012). Bursa'nın-Orhaneli bölgesi, hem potasyum hem de sodyum feldspat açısından zengin yataklara sahiptir. Bu bölgeden elde edilen feldspatlar, seramik, cam ve boya sanayilerinde kullanılır (Aktaş, 2015).

Son 25 yılda, feldspat mineralleri dünya çapında cam ve seramik endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kendine özgü kimyasal ve fiziksel nitelikleri nedeniyle flakslama (eritme) ve dolgu malzemeleri için birincil tercih olmuşlardır. Bölgenin kapsamlı bir

değerlendirmesinin yapılmasının ardından, inceleme alanının yalıtım endüstrisi, seramik endüstrisi, çimento endüstrisi, boya endüstrisi, elektrot endüstrisi ve cam endüstrisi için gerekli kriterleri karşılayan malzemelere sahip olduğu belirlenmiştir.

Teşekkür

Makale incelemesindeki değerli yorum ve yönlendirmelerinden dolayı tüm hakem hocalarımıza teşekkürü borç biliriz. Ayrıca B&S Maden firmasına da katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırma, yazarlarımızdan Cansu YURTSEVEN tarafından hazırlanan Yüksek Lisans tezinin verilerinin bir kısmının kullanılması ile gerçekleştirilmiştir. Araştırmacılar makale hazırlanmasındaki tüm aşamalarda ortak katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

- Aktaş, M. (2015). Türkiye'nin Feldspat Rezervleri ve Geleceği, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 39(2), 123-135.
- Ayan, M. (1963). Contribution A L'etude Petrographique Et Geologique De La Region Situee An Nort-Est De Kaman. M.T.A. Yayını, No 15, p. 332.
- Aydın N.S. & Önen, A.P. (1999). Field, Petrographic and Geochemical Features of the Baranadağ Quartz Monzonite of the Central Anatolian Granitoids, Turkey, *Turkish J. Earth Sci.*, 8; 113-124. <https://journals.tubitak.gov.tr/earth/vol8/iss2/3>
- Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (2013). *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*. Mineralogical Society. <https://doi.org/10.1180/DHZ>.
- Erkan, Y. (1976). Kırşehir Çevresindeki Rejyonel Metamorfik Bölgede Saptanan İsoogradlar ve Bunların Petrolojik Yorumları, *Yerbilimleri*, 2/1,107-111. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=PASCALGEODEBRGM7920081281>.
- Erkan, Y. (1977). Orta Anadolu Masifinin Güneybatısında Kırşehir Bölgesinde Etkili Rejyonel Metamorfizma ile Amfibol Minerallerinin Bileşimi Arasındaki İlişkiler, *Yerbilimleri*, 3/1,41-44. <https://dergipark.org.tr/en/pub/yerbilimleri/issue/13600/164816>.

Harben, P. W. (1995). *The Industrial Minerals Handybook*. Industrial Minerals Information Ltd.

İlbeyli, N. & Kibici, Y. (2009). Collision-related granite magma genesis, potential sources and tectono-magmatic evolution: comparison between central, northwestern and western Anatolia, Turkey, *International Geology Review*, Vol. 51, No. 3, 252-278. <https://doi.org/10.1080/00206810802673933>.

Kaya, O. (2009). Çine Granitlerinin Mineralojik ve Jeokimyasal İncelenmesi, *MTA Dergisi*, 142, 85-97.

King, H.M. (2021). *Feldspar-Uses, Properties & Facts*, Geology.com

Klein, C., & Dutrow, B. (2007). *The Manual of Mineral Science*. John Wiley & Sons, Inc.

MTA (1991). 1/100 000 Ölçekli Açınsama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi Kırşehir G 18 Paftası, No: 37, 14s.

Okay, A. I. & Tüysüz, O. (1999). Tethyan Sutures Of Northern Turkey. In *The Mediterranean Mediterranean Basins: Tertiary Extension Within The Alpine Orogen* (Eds B. Durand, L. Jolivet, F. Hovarth And M. Seranne), Geological Society Of London, Special Publication, Vol. 156, pp. 475-515 <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.156.01.22>.

Özgül, N. (2010). Türkiye'nin Endüstriyel Hammaddeleri, *TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları*, 35-45.

Seymen, İ., Maden (1982). Kaman dolayında Kırşehir masifinin jeolojisi, İTÜ Fakültesi, Doçentlik tezi 164 s. İstanbul (yayımlanmamış).

Seymen, İ. (1983). Tamadağ (Kaman-Kırşehir) Çevresinde Kaman Grubunun ve Onunla Sınırdış Oluşumların Karşılaştırmalı Tektonik Özellikleri, *Türkiye Jeol. Kur. Bül.*, 26/2,89-98.

Seymen, İ. (1984). Kırşehir Masifi Metamorfitlelerinin Jeolojik Evrimi, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Ketin Sempozyumu*, Ankara, 133-148. <http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=9243998>.

Tekin, S. & Gündoğdu, N. (2012). Ege Bölgesi'nde Feldspat Madenciligi ve Ekonomik Önemi, *Madencilik Dergisi*, 51(1), 1-10.

Tolluoğlu, A.Ü. (1987). Orta Anadolu Masifi Kırşehir Metamorfitlelerinin (Kırşehir Kuzeybatısı) Petrografik Özellikleri, *Doğa, Müh. Ve Çev. D.* 11.3.344-361.

Tolluoğlu, A. Ü. (1993). Kırşehir Masifini Kesen Felsik İnrüziflerin (Kötüdağ ve Buzlukdağ) Petrografik ve Jeokimyasal Karakterleri. Yer Bilimleri Dergisi, sayı:16,19-43
<https://dergipark.org.tr/en/pub/yerbilimleri/issue/13612/164944>.

Yılmaz, A., & Yücel, H. (2005). Feldspat Madenciliği ve Türkiye'nin Feldspat Rezervleri, Türkiye Jeoloji Bülteni, 48(2), 173-180.

Yurtseven, C. & Sendir, H., (2022). Akpınar (Kırşehir) Bölgesindeki Feldspat Yataklarının Jeolojik ve Jeokimyasal Özellikleri, 13. International Conference on Engineering and Natural Sciences, 19-22 March 2022, Burdur, Turkey.

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ TERZİOĞLU YERLEŞKESİNE SÜNGER ŞEHİR KONSEPTİ UYGULANMA POTANSİYELİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet Anıl KIZILASLAN^{1*}

¹Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, ÇTBMYO, İnşaat Bölümü, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0621-4646>

Anahtar Kelimeler	Öz
Sünger şehir Yağmur suyu hasadı İklim değişikliği Yeşil çatı Geçirimli asfalt Geçirimli kaldırım	<p>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Kampüsü'nde gerçekleştirilen bu çalışma, kampüs alanında Sünger Şehir konseptinin uygulanabilirliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında mevcut duruma yönelik saha araştırmaları yapılmış ve coğrafi bilgi sistemi ortamı kullanılarak sayısal veriler elde edilmiştir.</p> <p>Elde edilen bulgulara göre, mevcut durumda yapılacak değişiklikler ile yerleşkenin sünger şehir konseptine yaklaştırılması mümkündür. Bu değişiklikler arasında yeşil çatı uygulamaları, geçirimsiz yüzeylerin geçirgen hale getirilmesi ve mevcut yağmur suyu drenaj sisteminin iyileştirilmesi yer almaktadır. Ayrıca, kampüs içinde yağmur bahçeleri ve yağmur suyu biriktirme haznelarının inşa edilmesi önerilmiştir. Bu uygulamaların hayata geçirilmesi, kampüsün su kaynaklarını daha verimli kullanmasını sağlayarak çevresel sürdürülebilirliği artıracaktır.</p> <p>Çalışma sonucunda, Sünger Şehir konseptinin kampüs içerisinde uygulanmasının mümkün olduğu ve belirlenen alanlarda yapılacak iyileştirmelerin bu süreci destekleyeceği tespit edilmiştir. Bu tür yeşil uygulamaların, kampüsün ekolojik ayak izini azaltacağı, yağmur suyunu etkili bir şekilde biriktireceği ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynayacağı sonucuna varılmıştır.</p>

INVESTIGATION OF THE POTENTIAL OF ÇANAKKALE ONSEKİZ MART UNIVERSITY TERZIOĞLU CAMPUS TO IMPLEMENT SPONGE CITY CONCEPT

Keywords	Abstract
Sponge city Rainwater harvesting Climate change Green roof Permeable asphalt Permeable pavement	<p>This study, which was conducted at Çanakkale Onsekiz Mart University Terzioğlu Campus, aims to investigate the applicability of the Sponge City concept in the campus area. Within the framework of the study, field surveys of the current situation were conducted and numerical data were obtained using the geographic information system.</p> <p>According to the results, it is possible to bring the campus closer to the Sponge City concept by making changes to the current situation. These changes include the application of green roofs, the permeability of impervious surfaces, and the improvement of the existing storm water drainage system. It is also proposed to construct rain gardens and rainwater harvesting reservoirs within the campus. Implementation of these practices will increase environmental sustainability by enabling the campus to use water resources more efficiently.</p> <p>As a result of the study, it was determined that it is possible to implement the Sponge City concept within the campus and that improvements in the identified areas will support this process. It is concluded that such green practices will reduce the ecological footprint of the campus, effectively harvest rainwater, and play an important role in combating climate change.</p>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 02.09.2024

Kabul Tarihi

: 14.11.2024

Research Article

Submission Date

: 02.09.2024

Accepted Date

: 14.11.2024

* Sorumlu yazar: makizilaslan@comu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1542205>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

İklim değişikliğinin etkisiyle dünyada meydana gelen doğal afetler, şehirlerimize zarar vermekte ve suyla ilgili pek çok soruna yol açmaktadır. Sel baskınları, aşırı hava koşulları, su kıtlığı ve su kirliliği bu sorunlardan sadece birkaçıdır. Sünger Şehir konsepti, su birikintisi ve taşkınlara karşı yağmur suyunu esnek bir şekilde kontrol etmeyi amaçlayarak; şehirlerdeki ekolojik sürdürülebilirlik ilkesine vurgu yapar. Bu konsept, yağmur suyunun depolanmasına, yer altı sularına karışmasına ve artılmasına izin veren; çevresel, sosyal ve ekonomik amaçlara yönelik çeşitli ekosistem hizmetleri sağlayan bir şehir geliştirme modeli elde etmeyi amaçlamaktadır. Çin bu konsepti ilk uygulayan ülke olarak, iklim değişikliği, kentleşme ve şehir yönetimi tarafından yapılan uygunsuz kentsel planlamaların sebep olduğu kentsel sel felaketlerini önlemeyi amaçlamıştır. (Nguyen ve diğ., 2019). Çin dışında Amerika, Avrupa'da ise Almanya, Türkiye, Hollanda, Danimarka, İngiltere ve İsveç'in bu konseptte dayalı projeler ve uygulamalar geliştirmektedir.

Konseptinin ana ilkeleri üç bölümden oluşmaktadır:

(1) Kentlerin orijinal ekolojik ortamının korunması: Şehirlerin orijinal hidrolojik özelliklerini korumak için doğal nehirler, göller, sulak alanlar, göletler, hendekler, çayırar, ormanlık alanlar ve diğer ekosistemlerin en geniş ölçüde korunması gerekir. Böylece kentler, doğal çevrenin su koruma işlevini tam anlamıyla yerine getirebilir. Konseptin temel bir gerekliliği olarak, kentsel planlama ve inşaatla çevrenin korunmasında en yüksek önceliği vurgulamaktadır.

(2) Kentsel ortamda kirlenmiş suların ve zarar görmüş diğer doğal ekolojik sistemlerin iyileştirilmesi ve doğal peyzajların belirli bir oranının korunması: Ekolojik teknikler kullanarak tahrip olmuş sistemlerin ekosistem hizmeti işlevini geri kazanmaya ve geleneksel şehirleri doğaya geri döndürmeye çalışılmaktadır.

(3) Düşük Etkili Gelişim (LID): Yüzey akışını azaltmayı ve bir dizi ayrı ve küçük kaynak yoluyla yağmur suyu kirliliğini kontrol etmeyi amaçlayan bir yağmur suyu yönetimi konseptidir. Yüksek geçirgenlik ve nefes alabilirlik gibi amaçları yollara, meydanlara, kanallara uygular. Yağmur bahçeleri, ve yeşil çatıların kullanımını artırmayı amaçlar (Liu ve diğ., 2017).

Farklı şehirlerin Sünger Şehir konsepti ile yağmur suyunu daha aktif biriktiren, yeşil şehirler oluşturma potansiyeli son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde yeni bir araştırma konusu olarak karşımıza çıkmaktadır. Özellikle Çin'in Guyuan, Xining, Qingyang, Yuxi, Sanya, Shenzhen, Zhuhai, Qinnngdao, Fuzhuo, Ningbo, Shanghai, Dalian, Tianjin, Beijing, Xixianxinqu, Guianxinqu, Suinin, Chongqing, Nanning, Changde, Wuhan, Hebi, Ji'nan, Pingxiang, Xiamen, Chizhou, Jiaxing, Zhenjiang, Baicheng ve Qian'an kentleri sünger şehir konsepti uygulamalarını planlamış ya da

tamamını uygulamıştır (Li ve Zhang, 2022). Bunun yanı sıra Çin dışında Sub-Saharan Afrika şehirlerinin bu konsept ile yenilenmesinin araştırılması dikkat çekicidir (Thoms ve Köster, 2022).

Çin'in Sünger Şehir girişimi için pilot şehirlerinden biri olan Wuhan, geçirgen kaldırım, yeşil çatı ve yağmur bahçeleri gibi çeşitli önlemler uygulamıştır. Wang ve diğ. (2018) yaptığı bir çalışma, bu müdahalelerin yüzey akışını önemli ölçüde azalttığını ve su kalitesini iyileştirdiğini, böylece Wuhan'ın diğer Çin şehirlerine model olduğunu ortaya koymuştur.

Şanghai, sel kontrolü ve su kalitesi iyileştirmeye odaklanarak Sünger Şehir prensiplerini kentsel planlamasına entegre etmiştir. Li ve diğ. (2020) araştırması, geçirgen yüzeylerin yanı sıra kentsel sulak alanlar ve yeşil alanların kullanımının sadece sel sıklığını azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda kentsel biyolojik çeşitliliği de artırdığını göstermiştir.

Her ne kadar açıkça bir Sünger Şehri olarak adlandırılmasa da, Berlin'in sürdürülebilir kentsel drenaj sistemlerine yaklaşımı bu konseptte uygunluk göstermektedir. Çalışmalar, şehrin yağmur suyu toplama sistemleri ve yeşil çatılar gibi yeşil altyapı kullanımının, fırtına suyunu etkili bir şekilde yönettiğini, geleneksel drenaj sistemleri üzerindeki yükü azalttığını ve kentsel dayanıklılığı artırdığını göstermektedir (Bach ve Rauch, 2014).

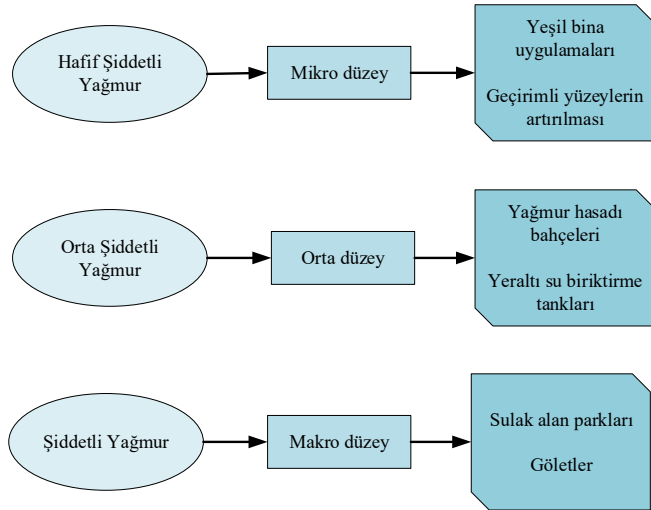
Portland, Sünger Şehir konseptine yakın olan sürdürülebilir su yönetimi uygulamalarında öncüdür. Şehir, biyolojik yutaklar ve yağmur bahçeleri gibi geniş çapta yeşil altyapı projeleri uygulamış ve bu projelerin, fırtına suyu akışını önemli ölçüde azalttığı ve su kalitesini iyileştirdiği gösterilmiştir (Jacobson, 2011).

Türkiye son yıllarda yaşanan taşkın vakaları ve değişen iklim koşulları ile birlikte iklim krizi çözümlerine odaklanmıştır durumdadır. Bu bağlamda Sünger Şehir konseptinin gerek mikro gerekse makro düzeyde uygulanabilirliğinin araştırılması önem arz etmektedir.

Bu çalışmada Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesine Sünger Şehir konsepti uygulanabilirliği araştırılmıştır. Araştırmada mikro düzeyde ve makro düzeyde yapılabilecek uygulamalar değerlendirilmiştir. Böylece yapılabilecek değişiklikler ile kampüsün ekolojik ayak izini azaltacağı, yağmur suyunu etkili bir şekilde biriktireceği ve iklim değişikliği ile mücadelede önemli bir rol oynayacağı sonucuna varılmıştır.

2. Yöntem

Sünger şehir konseptinde farklı yağış şiddetlerine yönelik alınması gereken önlem düzeyleri ve yapılacak uygulamalar Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı şiddetlerde yağış koşulları altında sünger şehir konsepti uygulamaları

Yeşil binalar, sel baskınlarına karşı kentsel dayanıklılığa katkıda bulunarak, su yönetimini geliştirerek ve çevresel sürdürülebilirliği artırarak sünger şehir konseptinde önemli bir rol oynamaktadır. Sünger kent stratejilerinin bir parçası olarak yeşil binalar, doğal hidrolojik süreçleri taklit eden yeşil çatılar, yağmur bahçeleri ve geçirgen yüzeyler gibi özellikleri entegre eder. Bu özellikler yağmur suyunun emilmesine, depolanmasına ve arıtılmasına yardımcı olarak yüzey akışını azaltır ve kentsel sel riskini hafifletir (Fletcher ve diğ., 2015).

Özellikle yeşil çatılar, sünger kentler için çok önemlidir. Sadece yağmur suyunu emmekle kalmaz, aynı zamanda kentsel ısı adası etkisini azaltır, hava kalitesini artırır ve yalıtım sağlayarak enerji tasarrufu sağlarlar. Araştırmalar, yeşil çatıların yağışın %80'ine kadarını tutabildiğini ve kentsel drenaj sistemleri üzerindeki yükü önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Buna ek olarak, yeşil binalar genellikle yağmur suyu toplama sistemlerini içermekte olup, yakalanan suyun içilebilir olmayan amaçlar için yeniden kullanılmasını sağlayarak belediye su kaynakları üzerindeki baskıyı daha da hafifletmektedir (Mentens ve diğ., 2006).

Yeşil binaları kentsel planlamaya entegre ederek şehirler daha sürdürülebilir ve dirençli ortamlar yaratabilir. Bu binalar sadece su yönetimine katkıda bulunmakla kalmaz, aynı zamanda biyoçeşitliliği artırır ve kentsel yaşamın genel kalitesini iyileştirir, bu da onları sünger şehir yaklaşımının temel taşı haline getirir (Shafique ve diğ., 2018).

Yağmur bahçeleri, yağmur suyunu kaynağında yakalayıp arıtarak kentsel su yönetimini geliştirmek üzere tasarlanan sünger şehir konseptinin hayati bir bileşenidir.

Bu sığ, bitkilendirilmiş havzalar, çatılardan, caddelerden ve diğer geçirimsiz yüzeylerden gelen yağmur suyu akışını emmek için kentsel peyzajlara stratejik olarak yerleştirilir, böylece sel riskini azaltır ve su kalitesini iyileştirir (Dietz ve Clausen, 2005).

Yağmur bahçeleri, infiltrasyonu ve doğal filtrasyonu teşvik ederek sünger şehir yaklaşımına katkıda bulunur. Yağmur suyu topraktan ve bitki köklerinden süzülürken, kirleticiler giderilir ve su yavaşça yeraltı suyu sistemine geri salınır. Bu sadece yüzey akışını azaltmakla kalmaz, aynı zamanda yerel akiferleri de yeniler, bu da özellikle su kıtlığı ile karşı karşıya olan bölgelerde faydalıdır (Hunt ve diğ., 2006).

Ayrıca, yağmur bahçeleri çeşitli bitki ve hayvan türleri için habitat sağlayarak kentsel biyoçeşitliliği artırır. Ayrıca, kent sakinlerinin yaşam kalitesini artıran yeşil alanlar sunarak kentsel alanların estetik çekiciliğine de katkıda bulunurlar. Yağmur bahçelerini kentsel planlamaya entegre ederek şehirler yağmur suyunu etkili bir şekilde yönetebilir, kentsel ısı adalarını azaltabilir ve daha esnek ortamlar yaratabilir (Davis ve diğ., 2009).

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi yaklaşık olarak 3 hektarlık bir alan üzerine kurulmuştur. Bu çalışmada yerleşke içerisinde bulunan üst yapılar, yeşil alanlar, yağmur suyu iletim hattı durumu, yollar ve kaldırımlar saha araştırmaları, Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında ölçümler yapılarak ve Yapı İşleri Daire Başkanlığı'ndan elde edilen veriler ışığında değerlendirilmiştir. Değerlendirmede Tablo 1'de verilen araştırma sorularının cevabı aranmıştır.



Şekil 2. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Kampüsü yaklaşık sınırları ve incelenen öğelere verilen numaralar ve semboller (Google Earth, Erişim adresi: <https://earth.google.com>)

Tablo 1. Araştırma soruları

Araştırma Sorusu	Gerekli Düzenleme
Kampüs içerisinde kaç m ² asfalt bulunmaktadır?	Bu asfaltların kaç m ² 'si geçirimsiz asfalta dönüştürülmelidir?
Kampüs içerisinde kaç m ² kaldırım bulunmaktadır?	Bu asfaltların kaç m ² 'si geçirimsiz kaldırıma dönüştürülmelidir?
Kampüs içerisindeki binaların çatı düzenlemeleri nasıldır?	Bu çatıların hangileri yeşil çatıya dönüştürülebilir?
Kampüs içerisinde yağmur bahçeleri bulunmakta mıdır?	Kampüs içerisinde yağmur bahçeleri bulunmuyorsa hangi alana bu bahçeler yerleştirilmelidir?
Kampüs içerisinde yağmur suyu iletim hattı durumu nedir?	Bu iletim hattı ile ilgili yapılacak düzenlemeler nelerdir?
Kampüs içerisine yağmur suyu biriktirme haznesi yapılacak alanlar bulunmaktadır?	Bu haznelerin inşası için gerekli düzenlemeler nelerdir?

Tablo 1'de belirlenen iş planlaması kapsamında öncelikle kampüs içerisinde saha araştırmaları yapılmıştır. Araştırma sorularının cevabı aranırken mevcut durum kayıt altına alınmıştır. Araştırma sonuçlarında CBS ortamında yapılan ölçümlerle mevcut duruma ait sayısal veriler elde edilmiştir.

Gerçekleştirilen saha araştırmaları sonrasında Şekil 3'te ekran görüntüsü verilen CBS ortamında yapılan ölçümlerle belirlenen bölgelerin alan hesaplamaları yapılmış ve sayısal veriler elde edilmiştir.

Bu bağlamda yapılan gözlem sırasında değerlendirilen unsurlara yönelik görseller Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4a'da kampüs içerisinde geçirimsiz asfalt kaplamaların bulunduğu bölgelere örnek bir görsel bulunmaktadır. Yerleşke içerisinde yağmur suyu iletim hattının yeterli olduğu kanısına varılmıştır. Özellikle eğimin değiştiği ve yol kaplama malzemesinin parke taştan asfalta geçtiği bölümlerde Şekil 4c ve 4d'de görülen geniş yağmur suyu mazgalları yerleştirilmiştir. Yine Şekil 4b'de görülen kaldırım kenarları ve yol birleşim bölgelerinde yağmur suyunun iletim hattına geçişini sağlayan mazgallar bulunmaktadır. Yerleşke içerisinde bulunan binaların çatı yapıları genellikle Şekil 4e'de verildiği gibi "kırma çatı" şeklinde tasarlanmıştır. Saha araştırmaları sonucunda Şekil 4f'de görülen geniş geçirimsiz alanların varlığı gözlenmiştir.

Şekil 2'de Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Kampüsü'nün Google Earth üzerinden elde edilmiş ekran görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3. CBS ortamında yapılan ölçümlere ait ekran görüntüsü.



Şekil 4. Kampüs içerisinde yapılan gözlem sonucu mevcut durumlar (a) Asfalt uygulamaları, (b) Yol kenarı yağmur suyu altyapı sistemi, (c) Birleşim bölgesi yağmur suyu altyapı sistemi, (d) Düşük eğimde yağmur suyu altyapı sistemi, (e) Genel mevcut çatı düzeni, (f) Düşük eğimli geçirimsiz yüzeyler

3. Bulgular

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi içerisinde Sünger Şehir Konseptinin uygulanabilirliği araştırılırken mevcut durumda gerekli değişiklikler ve yapılması gereken yeni uygulamalar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu bağlamda mevcut durumda gerekli değişiklikler yeşil çatı uygulamaları, geçirimsiz asfalt uygulamaları, mevcut yağmur suyu drenaj sisteminin iyileştirilmesi olarak belirlenmiştir. Yapılması gereken yeni uygulamalar ise yağmur bahçeleri inşası ve yağmur suyu biriktirme haznesi inşası olarak belirlenmiştir.

3.1. Mevcut Durumda Gerekli Değişiklikler

3.1.1. Yeşil Çatı Uygulamaları

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi içerisinde bulunan mevcut binalar arasından seçilen binalar Şekil 2’de verilmiştir. Bu binalar seçilirken yeşil çatıya dönüştürülecek çatı alanlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Geçirimsiz olarak kabul edilen mevcut çatı sistemlerinin yağmur suyu hasadını daha etkili bir şekilde gerçekleştirecek çatı sistemlerine dönüştürülme potansiyeli araştırılmıştır. Yerleşke içerisinde bulunan fakat değerlendirme içine alınmayan binaların seçilmemesi sebepleri ise şu şekilde belirtilebilir. Fen Fakültesi ile İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi binaları yıkım kararı alınmış ve yakın zamanda boşaltılacaktır. Spor Bilimleri Fakültesi binası yağmur suyunun iletilme hattına ters eğimde bulunmaktadır. Tıp Fakültesi binasının mevcut çatısının değiştirilmesi sürecinde hastaların rahatsız olabilme ihtimali göz önüne alındığında seçim dışı bırakılmıştır. Bunun dışında yerleşke içerisinde bulunan tüm binalar değerlendirmeye alınmıştır. Öncelikle saha araştırmasında çatıların “kıрма çatı” şeklinde inşa edildiği gözlenmiştir. Bu durumda mevcut hallerinden “yeşil çatı”ya dönüştürülmeleri mümkün görünmemektedir. Mevcut çatıların alanları ise CBS ortamında yapılan ölçümlerle hesaplanmıştır. Kampüs içerisinde seçilen binaların çatı alanları Tablo 2’de verilmiştir. Özellikle alanı görece büyük olan 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14 ve 15 numaralı binaların çatılarının yeşil çatıya dönüştürülmesi yağmur sularının etkili bir şekilde kampüs içerisinde toplanmasını sağlayacaktır. Buna ek olarak bu çatı dönüşümleri sonucunda yağmur suları bu binaların mevcut ihtiyaçlarının bir kısmını gidermesini de sağlayabilme potansiyeline sahiptir. Bu değerlendirmeler sonucunda yerleşke içerisinde bahsi geçen binaların yaklaşık 27000 m² yüzey alanına sahip çatılarının “yeşil çatı” ile değiştirilmesi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi’nin “Sünger Şehir” konsepti ile dönüştürülmesi ve yağmur suyunu etkili bir biçimde biriktirerek kullanabilmesi kapsamında önemli bir adımı teşkil etmektedir.

Tablo 2. Kampüs içerisinde seçilen binaların çatı alanları

Bina no	Çatı alanı (m ²)
1	600
2	490
3	688
4	600
5	1050
6	3332
7	600
8	3040
9	1070
10	2320
11	2320
12	1660
13	2918
14	1670
15	4800
Toplam	27158

3.1.2. Geçirimli Kaldırım, Geçirimli Asfalt ve Saha Uygulamaları

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi içerisinde yapılan saha araştırmasında kaldırımların tamamının parke taş ile döşendiği gözlenmiştir. Buna ek olarak Şekil 2'de verilen A bölgesinde mermer taştan yapılmış bir alan da göze çarpmıştır. CBS ortamı üzerinden hesaplanan toplam kaldırım ve geçirimsiz alan alanları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Kampüs içerisinde geçirimsiz kaldırım ve geçirimsiz alanlar

Uygulama	Alanı (m ²)
Geçirimsiz kaldırım	20000
Geçirimsiz saha (A bölgesi)	732
Toplam	20732

Yerleşke içerisinde bulunan 732 m²'lik geçirimsiz alan gözenekli malzemeler kullanılarak geçirimli alana dönüştürülmesi halinde etrafında bulunan yeşil alanlar da düşünüldüğünde yağmur suyunu biriktirilmesini kolaylaştıracaktır.

Şekil 3'te saha araştırması sırasında kaldırım kenarlarında yağmur suyu drenaj sistemi bulunduğu gözlenmiştir. Bu durum mevcut kaldırımların geçirimli kaldırıma dönüştürülmesi halinde direkt bağlantısının yapılabilmesine olanak sağlamaktadır. Yaklaşık 20000 m² olarak hesaplanan kaldırımların tamamının geçirimli kaldırıma dönüştürülmesi hem ekonomik yönden hem de uygulamaya yönünden zorluklar ortaya çıkaracaktır. Bu bağlamda özellikle yüksek eğimden düşük eğime geçilen bölgelerdeki kaldırımların geçirimli kaldırıma dönüştürülmesi hem ekonomik hem de efektif bir durum olarak değerlendirilmektir. B, C, D ve E alanlarının geçirimli kaldırımlara dönüştürülmesinin sebep ve amaçları şu şekilde belirlenmiştir.

- *Yüksek eğimden düşük eğime geçilmesi:* Eğimin ani değiştiği bölgelerdeki kaldırımların geçirimli kaldırıma dönüştürülmesi sonucunda yağmur suları bu bölgede birikim yapmadan efektif bir şekilde altyapı sistemine iletilebilecektir.

- *Yağmur suyu altyapı sistemine yakın bölgelerin bulunması:* Mevcut durumda seçilen bölgelerde geniş yağmur suyu drenaj kanalları bulunmaktadır. Bu durum ek bir maliyet gerektirmeden yağmur suyunun iletiminin kolaylığını sağlayacaktır.

Tablo 4'te geçirimli kaldırım ya da sahaya dönüştürülmesi planlanan alanların CBS ortamı üzerinden hesaplanmış alanları verilmiştir.

Tablo 4. Geçirimli kaldırım ya da sahaya dönüştürülmesi planlanan alanlar

Bina no	Çatı alanı (m ²)
A	732
B	800
C	360
D	520
E	240
Toplam	2652

Geçirimli kaldırımlara benzer şekilde geçirimsiz asfaltların eğimin değiştiği ya da yol malzemesinin değiştiği bölgelerde geçirimli hale dönüştürülmesi sünger şehir konseptinin uygulanabilirliği kapsamında önem arz eden bir uygulamadır. Bu kapsamda parke taş asfalt kaplama dönüşümünün yaşandığı I bölgesinde 800 m², eğimin yüksek eğimden düşük eğime geçtiği II bölgesinde 340 m², III bölgesinde 1400 m² asfaltın geçirimli hale getirilmesi sünger şehir konseptinin yerleşke içerisinde uygulanmasında yeterli olacaktır. Böylece mevcut durumda geçirimsiz olan yaklaşık 5200 m²'lik alan artık geçirimli hale gelecek, taşkına sebep olma potansiyeli olan süresi düşük şiddeti yüksek yağışlar direkt olarak yağmur suyu altyapı sistemine iletilebilecektir. Burada konsept kriteri olarak geçirimsiz yüzey alanlarının geçirimli hale dönüştürülerek yağmur suyu biriktirme sistemine katkıları araştırılmıştır.

3.1.3. Yağmur suyu biriktirme haznesi inşası ve yağmur bahçelerinin oluşturulması

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi içerisinde yapılan saha araştırmasında Şekil 2'de verilen "α" ve "β" bölgeleri gerek eğim, gerekse arazi bakımından yağmur suyu biriktirme haznesi inşasına ve yağmur bahçelerinin oluşturulmasına uygun alanlar olarak belirlenmiştir. Bu bölgede biriktirilecek yağmur suyu yerleşke içerisinde istenilen bölümlerde kullanılacak bir su haline getirildiğinde yeşil çözümlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

4. Sonuçlar

Yükselen sıcaklıklar, aşırı hava olayları ve çevresel bozulmalarla karakterize edilen küresel iklim krizi, acil eylemler gerektirmektedir. Çevresel etkiyi azaltan sürdürülebilir eylemler olan yeşil uygulamalar, bu zorlukların üstesinden gelmede hayati önem taşımaktadır (IPCC, 2018). Bu uygulamalar, sera gazı emisyonlarını azaltmayı, kaynakları korumayı ve ekosistem direncini artırmayı amaçlayan yenilenebilir enerji kullanımı, sürdürülebilir tarım ve yeşil Enerji verimli inşaat, sürdürülebilir malzeme kullanımı ve yeşil çatılar gibi yeşil bina tasarımı, kentsel alanların karbon ayak izini azaltmada önemli bir rol oynamaktadır. Bu uygulamalar, yalnızca emisyonları azaltmakla kalmayıp, aynı zamanda enerji tasarrufunu teşvik ediyor ve kentsel dayanıklılığı artırıyor. bina tasarımı gibi unsurları içermektedir (Kats, 2010).

Sünger Şehir konsepti, şehirlerdeki ekolojik sürdürülebilirlik ilkesini vurgulayarak su birikintisi ve taşkınlara karşı yağmur suyunun esnek bir şekilde kontrol edilmesini içerir. Konsept, yağmur suyunun depolanmasına, yer altı sularına karışmasına ve artırılmasına izin veren; çevresel, sosyal ve ekonomik amaçlara yönelik çeşitli ekosistem hizmetleri sağlayan bir şehir geliştirme modeli elde etmeyi amaçlamaktadır (GOSC, 2015). Sünger Şehir konseptinin ana hedefi, yeşil (temiz su) ve gri (pis su) altyapıların birleşimiyle hem yapısal hem de yapısal olmayan önlemleri uygulayarak doğal su döngüsünü ve ekolojik işlevlerini eski haline getirmektir. Geleneksel şehir planlamasında gri altyapı suyu bir atık olarak ele alırken, yeşil altyapıda yağmur suları bir kaynak olarak ele alınmaktadır. Yeşil altyapı yaklaşımında şehirlerin kaybettiği nehirleri, sulak alanları, ormanları, makro ve mikro ölçekteki kentsel boşlukları su ve biyoçeşitlilik unsurlarını gözeterek sosyal anlamda kapsayıcı mekanlara dönüştürmeyi amaçlamaktadır (Eşbah Tunçay, 2022).

Bu çalışmada Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesinin Sünger Şehir konsepti uygulanma potansiyeli saha gözlemleri ve CBS ortamı kullanılarak değerlendirilmiştir. Çalışmanın başlangıcında, sünger şehir konseptinin temel ilkeleri ve uygulama alanları incelenmiş, ardından Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi'nin mevcut durumu analiz edilmiştir. Bu analizde, kampüs içerisindeki asfalt, kaldırımlar, çatı yapıları ve yağmur suyu drenaj sistemleri incelenmiş, mevcut durumun sünger şehir konsepti ile nasıl iyileştirilebileceği değerlendirilmiştir.

Çalışmanın ana bulguları şunlardır:

Yeşil Çatı Uygulamaları: Kampüs içerisindeki belirli binaların çatılarının "yeşil çatı"ya dönüştürülmesinin, yağmur sularının toplanması ve kullanılması açısından önemli bir katkı sağlayacağı tespit edilmiştir. Bu uygulamanın, kampüsün su yönetimi üzerindeki olumlu

etkileri yanı sıra, binaların enerji verimliliğini artırması ve çevresel sürdürülebilirliğe katkıda bulunması beklenmektedir.

Geçirimli Kaldırım ve Asfalt Uygulamaları: Kampüs içerisinde belirlenen geçirimsiz alanların geçirgen malzemelerle yenilenmesi, yağmur sularının etkin bir şekilde toplanmasına ve suyun doğal döngüsüne geri kazandırılmasına olanak tanıyacaktır. Bu dönüşümün, özellikle yüksek eğimden düşük eğime geçiş yapılan alanlarda ve kullanılan yol kaplama malzemesinin değiştiği yerlerde etkili olacağı öngörülmektedir.

Yağmur Bahçeleri ve Yağmur Suyu Biriktirme Hazneleri: Kampüs içerisinde uygun alanlarda yağmur bahçeleri ve yağmur suyu biriktirme haznelerinin inşa edilmesi önerilmiştir. Bu yapıların, yağmur sularını kaynağında toplaması ve bu suların kampüs içinde kullanılabilir hale getirilmesi, hem sel riskini azaltacak hem de su kaynaklarının korunmasına katkıda bulunacaktır.

Bu çalışma, sünger şehir konseptinin Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi'nde uygulanabilirliğini araştırarak, çevresel sürdürülebilirlik ve iklim değişikliğiyle mücadele çabalarına önemli bir katkı sunmaktadır. Yeşil çatı, geçirgen kaldırımlar ve yağmur bahçeleri gibi önerilen uygulamalar, sadece kampüsün su yönetimini iyileştirmekle kalmayıp, aynı zamanda enerji verimliliğini artıracak, kentsel ısı adası etkisini azaltacak ve genel çevresel kalitenin yükseltilmesine yardımcı olacaktır.

Bu bağlamda, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Terzioğlu Yerleşkesi'nde sünger şehir konseptinin kademeli olarak uygulanması önerilmektedir. İlk aşamada, pilot projelerle bu konseptin etkinliği test edilmeli ve elde edilen sonuçlara göre kapsam genişletilmelidir. Ayrıca, bu tür çevre dostu uygulamaların yaygınlaştırılması, üniversitenin sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşmasında önemli bir adım olacaktır. Birçok Sünger Şehir projesinde, taşkın sularını emmek için yağmur suyunun en az %70'ini emme ve yeniden kullanma kapasitesine sahip olduğu kanıtlanmıştır (Nguyen ve diğ., 2019). Yerleşke içerisinde bu konseptin uygulanması benzer seviyelerde yağmur suyu depolama sisteminin oluşturulmasına olanak sağlayabilecektir. Tabii ki tüm bu uygulamalar belirli bir maliyet gerektirmektedir. Ancak elde edilecek yeşil fayda düşünüldüğünde gerekli mali planlamalar içerisinde belirli zaman aralıklarında yer alması uzun vadede olumlu sonuçlar doğuracaktır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; tüm süreçler Mehmet Anıl KIZILASLAN tarafından yürütülmüştür.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Bach, P. M., ve Rauch, W. (2014). Integrated Urban Water Management: Combining the Concepts of Urban Water Management and Sponge Cities in Berlin, Germany. *Water Science and Technology*, 70(11), 1794-1802.

Davis, A. P., Hunt, W. F., Traver, R. G., ve Clar, M. (2009). Bioretention Technology: Overview of Current Practice and Future Needs. *Journal of Environmental Engineering*, 135(3), 109-117. doi:10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:3(109)

Dietz, M. E., ve Clausen, J. C. (2005). A Field Evaluation of Rain Garden Flow and Pollutant Treatment. *Water, Air, and Soil Pollution*, 167(1-4), 123-138. doi:10.1007/s11270-005-8269-2

Eşbah Tunçay, H. (2022). Sünger şehirler. *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 23(2) 99-108

Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ve Field, R. (2015). Sponge City: Water Management Through Urban Design. *Landscape and Urban Planning*, 144, 162-179. doi:10.1016/j.landurbplan.2015.07.003

Google Earth, Erişim adresi: <https://earth.google.com>, Erişim tarihi: 20.11.2024

Hunt, W. F., Jarrett, A. R., Smith, J. T., ve Sharkey, L. J. (2006). Evaluating Bioretention Hydrology and Nutrient Removal at Three Field Sites in North Carolina. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 132(6), 600-608. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2006)132:6(600)

IPCC. (2018). Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Jacobson, C. R. (2011). Identification and Quantification of the Hydrological Impacts of Impervious Surfaces on Urban Catchments Using a Distributed Rainfall-Runoff Model. *Journal of Hydrology*, 398(3-4), 198-208.

Kats, G. H. (2010). *Greening Our Built World: Costs, Benefits, and Strategies*. Island Press.

Li, C., Ding, J., ve Zhou, J. (2020). Sponge City Construction and Its Application in Shanghai, China. *Environmental Science ve Technology*, 54(10), 6563-6572.

Li, F., ve Zhang, J. (2022). A review of the progress in Chinese Sponge City programme: Challenges and opportunities for urban stormwater management. *Water Supply*, 22(2), 1638-1651.

Liu, H., Jia, Y., ve Niu, C. (2017). "Sponge city" concept helps solve China's urban water problems. *Environmental Earth Sciences*, 76, 1-5.

Mentens, J., Raes, D., ve Hermy, M. (2006). Green Roofs as a Tool for Solving the Rainwater Runoff Problem in the Urbanized 21st Century? *Landscape and Urban Planning*, 77(3), 217-226. doi:10.1016/j.landurbplan.2005.02.010

Nguyen, T.T., Ngo H.H., Guo W., Wang X.C., Ren N., Li G., Ding J. ve Liang H. 2019. "Implementation of a specific urban water management - Sponge City", *Science of The Total Environment*, 652, 147-162.

Shafique, M., Kim, R., ve Rafiq, M. (2018). Green Roof Benefits, Opportunities and Challenges – A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 757-773. doi:10.1016/j.rser.2018.04.006

Thoms, A., ve Köster, S. (2022). Potentials for Sponge City Implementation in Sub-Saharan Africa. *Sustainability*, 14(18), 11726.

The General Office of the State Council (GOSC). 2015. "The guiding opinions on promoting the construction of sponge city" China.

Wang, Y., Song, X., ve Zhang, Z. (2018). Evaluation of Sponge City Construction in Wuhan, China. *Journal of Hydrology*, 566, 787-799.

STOKİYOMETRİK OLMAYAN NBT-ST SERAMİKLERİNİN ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİNE SİNERLEME YARDIMCISI CuO KATKISI ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Gülbeniz YALDIZ İNCE¹, Mustafa Yunus KAYA^{2*}

¹ Bursa Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, 16310 Bursa, TÜRKİYE
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-2161-8283>

² Bursa Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, 16310 Bursa, TÜRKİYE
ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-4518-3184>

Anahtar Kelimeler	Öz
Kurşunsuz Seramik Sodyum Bizmut Titanat Ferroelektrik Özellikler CuO Katkısı Dielektrik Özellikler	Son yirmi yıllık süreçte, elektromekanik cihazlarda, enerji hasadı ve enerji depolama uygulamalarında yaygın kullanıma sahip kurşun zirkonat titanat ve türevi seramiklere alternatif olarak kurşun içermeyen piezoseramiklerin araştırılması ve geliştirilmesi üzerine çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu araştırmalar içerisinde sodyum bizmut titanat ($Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$ -NBT) esaslı seramikler ve morfortropik faz sınırı (MFS) kompozisyonları sergiledikleri elektriksel özellikler ile öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, NBT seramik bileşimi stronsiyum titanat ($SrTiO_3$ -ST) ile modifiye edilmiştir. $[Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3]_{0.75}[Sr_{1-x}TiO_{3-x}]_{0.25}$ -NBT- S_nT ($x=0,25$) kimyasal formülünce stokiometrik olmayan seramik kompozisyonu katı hal kalsinasyon yöntemiyle sentezlenmiş ve CuO katkısının sinterleme performansı ve özellikleri üzerine etkisi incelenmiştir. Sentezleme işlemi sonrasında psedokübik simetride NBT- S_nT fazının yüksek oranda olduğu görülmüştür. Sinterleme yardımcısı CuO katkısı miktarına bağlı olarak sinterleme işleminde ikincil faz oluşumu gözlenmiştir. En yüksek yoğunlaşma oranı %0,5 CuO katkılı seramiklerde 1200 °C'de 3 saat sinterleme ile elde edilmiştir. Bu seramikler için 10 kHz frekansında dielektrik sabiti (K) 570 ila 1300 arasında, dielektrik kayıp ($\tan \delta$) değerleri 0,04 ila 0,11 arasında, relaksör ferroelektrik davranışa işaret eden yayınımsallık derecesi (γ) ise 1, 84 ila 1,99 arasında değişmektedir.

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF CuO SINTERING AID ON THE ELECTRICAL PROPERTIES OF NON-STOICHIOMETRIC NBT-ST CERAMICS

Keywords	Abstract
Lead-free Ceramic Sodium Bismuth Titanate Ferroelectric Properties CuO Addition Dielectric Properties	In the last two decades, extensive research has been conducted on lead-free piezoceramics to find alternatives to lead-zirconate-titanate (PZT) and its derivatives, which are widely utilized in electromechanical devices, including actuators, transducers, sensors, energy harvesting, and energy storage applications. Among these studies, sodium bismuth titanate ($Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$ -NBT) based ceramics and compositions near the morphotropic phase boundary (MPB) are notable for their electrical properties. A recent study modified the NBT ceramic composition with strontium titanate ($SrTiO_3$ -ST). The non-stoichiometric ceramic composition $[Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3]_{0.75}[Sr_{1-y}TiO_{3-x}]_{0.25}$ -NBT- S_nT (where $x=0.25$) was synthesized via solid-state calcination, and the effect of CuO additives on sintering performance and properties was investigated. The synthesis process achieved a significant proportion of the NBT- S_nT phase in pseudo cubic symmetry. Secondary phase formation during sintering was observed to increase with CuO sintering aid. The highest density was achieved with ceramics containing 0.5% CuO sintered at 1200°C for 3 hours. For these ceramics, the dielectric constant (K) ranged from 570 to 1300 at a frequency of 10 kHz, with dielectric loss ($\tan \delta$) values ranging from 0.04 to 0.11, indicative of relaxor ferroelectric behavior with a degree of diffuse phase transition (γ) ranging from 1.84 to 1.99.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 03.09.2024

Kabul Tarihi : 14.11.2024

Research Article

Submission Date : 03.09.2024

Accepted Date : 14.11.2024

* Sorumlu yazar: mustafayunus.kaya@btu.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1542806>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Giriş

Çok uzun yıllardan bu yana çeşitli uygulama alanlarında ticari kullanıma sahip olmalarına rağmen elektroseramik malzemelerin kullanım sahalarının çeşitliliği ve endüstrideki önemleri teknolojik gelişmeler ile paralel olarak artmaktadır. (Liu, ve diğ., 2017a; Rödel ve diğ., 2009) Yüksek dielektrik sabiti, yüksek elektromekanik özellikler, yeniden yönlendirilebilir polarizasyon durumu gibi fiziksel olguların gözlendiği elektroseramikler ailesi içerisinde yer alan ferroelektrik ve piezoelektrik seramikler oldukça geniş bir uygulama sahasına sahiptirler (Weyland ve diğ., 2016). Yarım asırdan daha uzun bir süredir kurşun zirkonat titanat ($Pb(Zr_xTi_{1-x})O_3$ -PZT) ve türevi kurşun içerikli elektroseramikler sergiledikleri üstün elektriksel özellikleri nedeniyle pek çok uygulamada oldukça yaygın kullanılan yegâne perovskit malzeme sınıfıdır (Gao ve diğ., 2020; Rahman ve diğ., 2014; Rödel ve diğ., 2009). Kurşunun toksik etkisi ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle kurşunsuz sistemler üzerindeki araştırmalar son elli yıldan bu yana devam etmektedir (Acosta ve diğ., 2017). 2002 yılını takiben çeşitli dönemlerde Pb ve benzeri toksik etkiye sahip elementlerin ticari uygulamalarda kullanımını kısıtlayıcı yasal düzenlemelerin Avrupa Birliği içerisinde devreye alınması (EU-Directive, 2003, 2011); kurşun içermeyen alternatif malzeme arayışını yeniden canlandırmıştır (Acosta ve diğ., 2017). Alkali niyobat esaslı kurşunsuz seramiklerin (Saito ve diğ., 2004), PZT'in sergilediği özellikler ile kıyaslanabilecek derecede performans sergilediklerinin ortaya konmasını takiben bu yöndeki araştırmalar ivmelenmiştir (Acosta ve diğ., 2017). Kurşunsuz seramik sistemleri içerisinde ($K_{0.5}Na_{0.5}$)NbO₃ (KNN), Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ (NBT), (Ba,Ca)(Zr,Ti)O₃ (BCZT), K_{0.5}Bi_{0.5}TiO₃ (KBT) gibi kompozisyonlar üzerine araştırmalar sürdürülmektedir (Fan ve diğ., 2021). Bu kompozisyonlar arasında NBT seramikleri, yüksek yapısal çarpılmaya katkı sağlayan Bi³⁺ iyonunun 6s² tekil elektron çiftinden kaynaklanan yüksek kutuplanabilirlik kabiliyeti (Hill, 2000) ve elektrik alan etkili faz geçişleri sırasında sergilediği yüksek birim 4değişimi davranışı nedeniyle ilgi çekici piezoseramiklerdir (Weyland ve diğ., 2016).

2. Literatür Özeti

NBT seramikleri ve NBT esaslı ikili ve üçlü katı çözeltileri sahip oldukları yüksek faz dönüşüm sıcaklıkları (ferroelektrik→relaksör ferroelektrik→paraelektrik) ve sergiledikleri benzersiz elektriksel özellikleri ile alternatif potansiyel kurşunsuz adaylar arasından çıkmaktadır (Liu, ve diğ., 2017b; Rödel ve diğ., 2009; Rödel ve diğ., 2015). NBT esaslı seramik ailesi içinde stronsiyum titanat (SrTiO₃-ST) ile oluşturulan [$Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$]_{1-x}[SrTiO₃]_x (NBT-ST) katı çözeltisi alan etkili birim şekil değişimi ve polarizasyon davranışı yüksekliği sayesinde son dönemlerde yaygın olarak

araştırılmaktadır (Ang ve Yu, 2006; Berksoy-Yavuz, Kaya, Yalcin, Gozuacik ve Menşur, 2024; Hiruma, Imai, Watanabe, Nagata ve Takenaka, 2008; Kraus, Schütz, Mautner, Feteira, Reichmann, 2010; Sakata ve Masuda, 1974). NBT seramiği; O²⁻ iyonlarının hacim yüzeylerine, Ti⁴⁺ iyonunun kristal kafesin hacim merkezine, Bi³⁺ ve Na⁺ iyonlarının ise kristal kafesin A konumunda karmaşık yerleşimde olduğu ABO₃ perovskit yapısında kristalleşen bir ferroelektrik seramik olup ilk defa Smolenskii, Isupov, Agranovskaya ve Krainik (1961) tarafından sentezlenmiştir (Berksoy-Yavuz, Kaya, Avcı, Çakırbaş ve Menşur, 2022; Reichmann, Feteira, Li, 2015; Rödel ve Li, 2018). NBT seramikleri oda sıcaklığında rombohedral (*R3c*) simetrisinde, depolarizasyon sıcaklığını (*T_d*) takiben faz geçişiyle birlikte tetragonal simetri (*P4mm*) dönüşümünün olduğu ve bu simetrinin Curie sıcaklığına kadar varlığını sürdürdüğü araştırmalar çerçevesinde tespit edilmiştir (Krauss, Schütz, Mautner, Feteira ve Reichmann, 2010; Yang ve diğ., 2019). Yüksek kalıntı polarizasyon (*P_r*~ 38 µC/cm²), yüksek zorlayıcı elektrik alan (*E_c*~73 kV/cm) ve yüksek Curie sıcaklığı (*T_c*~320°C) gibi özelliklere sahip NBT seramikleri relaksör ferroelektrik (*RF*) karakter sergilemektedir. Üstün alan etkili birim şekil değişimi ve elektrostriktif davranış, enerji depolama kabiliyeti gibi özellikleri ile NBT seramikler ön plana çıkmaktadır (Berksoy-Yavuz ve diğ., 2022; Yang ve diğ., 2019). Ancak PZT ve türevi seramiklere alternatif olabilecek derecede yüksek özellikler sergilemesine rağmen kutuplama işlemi için uygulanması gereken elektrik alan miktarının yüksekliği ile birlikte kutuplama sürecinde meydana gelen sızıntı akımları ticari açıdan NBT seramikleri için dezavantaj oluşturmaktadır (Berksoy-Yavuz ve diğ., 2024). Bu problemleri aşmak ve NBT özelliklerini stabilize etmek için çeşitli katkılar yanında SrTiO₃-ST, BaTiO₃-BT gibi seramik kompozisyonlarıyla oluşturulan katı çözeltiler ve bunların morfolotropik faz sınırı (MFS) kompozisyonları üzerinde çalışılmaktadır (Krauss ve diğ., 2010; Su ve diğ., 2022; Wang ve diğ., 2021; Yang ve diğ., 2019). ST veya BT ile oluşturulan katı çözeltilerinde Sr²⁺ ve Ba²⁺ kristal kafesin A konumunda Bi³⁺ veya Na⁺ iyon konumlarına yerleşmektedir (Berksoy-Yavuz ve diğ., 2024). NBT sisteminin ST ile alaşımlandırılması ilk defa Sakata ve Masuda (1974) tarafından yapılmış ve alaşımlandırma işleminin NBT sisteminin Curie sıcaklığını (*T_c*) düşürdüğü tespit edilmiştir (Acosta, Jo, Rödel, 2014). ST, oda sıcaklığında kübik perovskit yapıda lineer dielektrik olmakla birlikte oldukça düşük *P_r* ve çok yüksek dielektrik bozunma direnci (*E_b*) gibi özelliklere sahiptir. Literatürde gerçekleştirilen birçok çalışma ST seramiğinin NBT seramik matrisi için uygun bir katkı olduğunu göstermektedir. Bu alaşımlandırma işlemi uzun mesafeli ferroelektrik domain oluşumları engelleyerek, polar nano bölgeler (PNRs) meydana getirmektedir. Böylelikle etkili bir şekilde *P_r* azaltılırken oldukça yüksek doyum polarizasyonu (*P_m*) değerleri korunmaktadır (Hiruma ve diğ., 2008; Krauss ve diğ.,

2010; Wang ve diğ., 2021). Bununla birlikte, $NBT_{(1-x)}-ST_x$ kompozisyonlarında ST miktarına göre piezoelektrik gerinim davranışında iyileşme meydana gelmekte ve buna ek olarak elektriksel özellikler (dielektrik, piezoelektrik, ferroelektrik) de faz dönüşümlerinden etkilenmektedir (Liu, ve diğ., 2017c). Cao ve diğ. (2016) MFS sınırı civarı bir kompozisyon olan $0,75NBT-0,25ST$ için rombohedral $R3c$ ve psedokübik (Pc) simetrisinin oda sıcaklığında birlikte bulunduğunu saptamıştır.

NBT-ST bileşiminin stronsiyum (Sr) eksikliğine bağlı $[Na_{0,5}Bi_{0,5}TiO_3]_{0,75}-[Sr_{1-x}TiO_{3-x}]_{0,25}-NBT-S_nT$ ($x=0,25$) reaksiyon denklemi uyarınca stokiyometrik olmayan NBT- S_nT kompozisyonun sentezlenmesi ve sentezlenen kompozisyona sinterleme yardımcısı CuO katkısı eklenmesiyle sinterleme sıcaklıklarına bağlı olarak özelliklerinin incelenmesi literatürde daha önce ele alınmamıştır. Bu çalışmada, stokiyometrik olmayan NBT- S_nT seramiğine katılan CuO sinterleme yardımcısının seramik kompozisyonunun faz, mikroyapı, yoğunluk ve elektriksel özellikleri üzerine etkileri incelenmiş ve bulgulara yer verilerek tartışılmıştır.

3. Yöntem

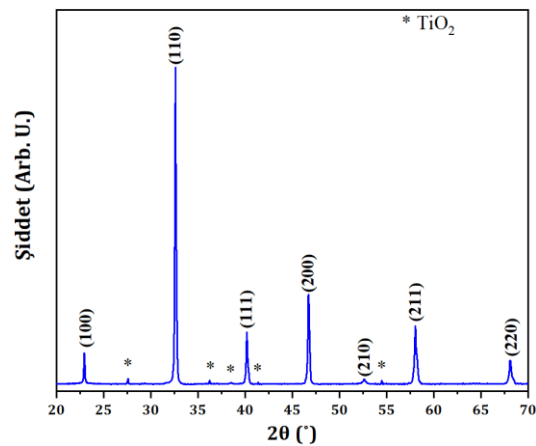
Seramik tozlarının üretiminde Na_2CO_3 (Across Organics, >%98), Bi_2O_3 (Alfa Aesar, %98,5), $SrCO_3$ (Sigma Aldrich >%98), TiO_2 (Alfa Aesar, Rutil %99,5) başlangıç tozları kullanılmıştır. Başlangıç tozları $[Na_{0,5}Bi_{0,5}TiO_3]_{0,75}[Sr_{0,75}TiO_{2,75}]_{0,25}-NBT-S_nT$ formülüne göre tartılarak gezegensel değirmende 300rpm hızında 4 saat öğütülmüştür. Takiben tozlar kurutulurak katı hal kalsinasyon yöntemi ile $950\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 4 saat süre ile sentezlenmiştir. Kalsine edilen tozlar, eşit ağırlıklara ayrılmış ve %0-1,5 aralığında değişen mol oranlarında sinterleme yardımcısı CuO (Sigma Aldrich, >%99,0) ile katılandırılmıştır. Polimerik bağlayıcı eklenmesi ve granülasyon işlemi takiben NBT- $S_nT+yCuO$ seramik tozlarından tek eksenli pres yardımıyla 100 MPa basınç altında 16 mm çaplı peletler üretilmiştir. Seramiklerin sinterleme işlemi $5\text{ }^\circ\text{C}/\text{dakika}$ ısıtma hızıyla ulaşılan $1175\text{ }^\circ\text{C}-1250\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkları arasında 3 saat olmak üzere alümina pota içerisinde normal atmosferik koşullarda ve kamara tipi fırında gerçekleştirilmiştir. NBT- S_nT stok tozuna ve sinterlenmiş NBT- $S_nT+yCuO$ seramiklerine X-ışını kırınım (XRD) yöntemiyle faz analizleri, Bruker D8 Advance difraktometre cihazında (Bruker AXS GmbH) $Cu-K_\alpha$ radyasyonu kullanılarak $2\theta=20^\circ-70^\circ$ arasında uygulanmıştır. Parlatılan ve termal olarak dağlanan ($900\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30 dakika süreyle) seramiklerin kesit yüzeylerinin mikroyapı analizleri taramalı elektron mikroskobuyla (SEM, Philips XL30 FEI Co., USA) gerçekleştirilmiştir. Farklı sinterleme sıcaklıkları için NBT- $S_nT+yCuO$ seramiklerinin yoğunlukları Arşimet yöntemi ile belirlenmiştir. Dielektrik özelliklerin tespiti öncesinde sinterlenmiş seramikler yüzeyleri parlatılarak paralel hale getirilmiş ve gümüş elektrot pasta (ESL, 9910-C) uygulanarak $600\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 30 dakika

süreyle fırınlanmıştır. Numunelerin oda sıcaklığındaki kapasitans ve dielektrik kayıp ($\tan \delta$) ölçümleri LCR-metre cihazında (Hi-Tester 3532-50, Hioki) farklı frekanslarda ($f=1, 10$ ve 100 kHz) alınmış ve 10 kHz frekansı için oda sıcaklığında dielektrik sabitleri (K) hesaplanmıştır. Sıcaklığa bağlı C ve $\tan \delta$ ölçümleri farklı frekanslarda ($f=1, 10$ ve 100 kHz) $25\text{ }^\circ\text{C}$ ile $500\text{ }^\circ\text{C}$ arasında, $2\text{ }^\circ\text{C}/\text{dakika}$ ısıtma hızıyla LCR metre kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak her bir sıcaklık için K sabiti hesaplanmış ve dielektrik davranış karakterize edilmiştir. NBT- $S_nT+yCuO$ seramiklerine ait elektrik alan etkili polarizasyon ($P-E$) ve birim şekil değişimi ölçümleri ($S-E$), Precision LC (Radiant-ABD) cihazında 1 Hz frekansında $50\text{ kV}/\text{cm}$ elektrik alan (E) altında gerçekleştirilmiştir. Doyum polarizasyonu (P_m), kalıcı polarizasyon (P_r), zorlayıcı elektrik alan (E_c) ve doyum birim şekil değişimi (%S) bu ölçüm verilerinden elde edilmiştir. Akım-voltaj ($I-V$) davranışı ise Precision LC (Radiant-ABD) cihazı kullanılarak yine 1 Hz frekansında saptanmıştır. Bu çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Faz Analizi ve Yapısal Karakterizasyon

NBT- S_nT tozunun $950\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 4 saat kalsinasyon işlemi sonrası XRD analizi ile belirlenen faz bileşimi Şekil 1'de verilmiştir. NBT saf halde $R3c$ rombohedral simetrisinde, ST ise kübik perovskit yapıdadır (Cui ve diğ., 2017; Malathi, Devi, Kumar, Vithal ve Prasad, 2013). NBT seramiklerinin ST ile alaşımlandırılması kristal simetrisini etkilemekte ve buna bağlı olarak molce $0,24$ ST oranı itibariyle rombohedral simetri baskılanarak psedokübik yapı meydana gelmektedir (Park ve Hong, 1997).

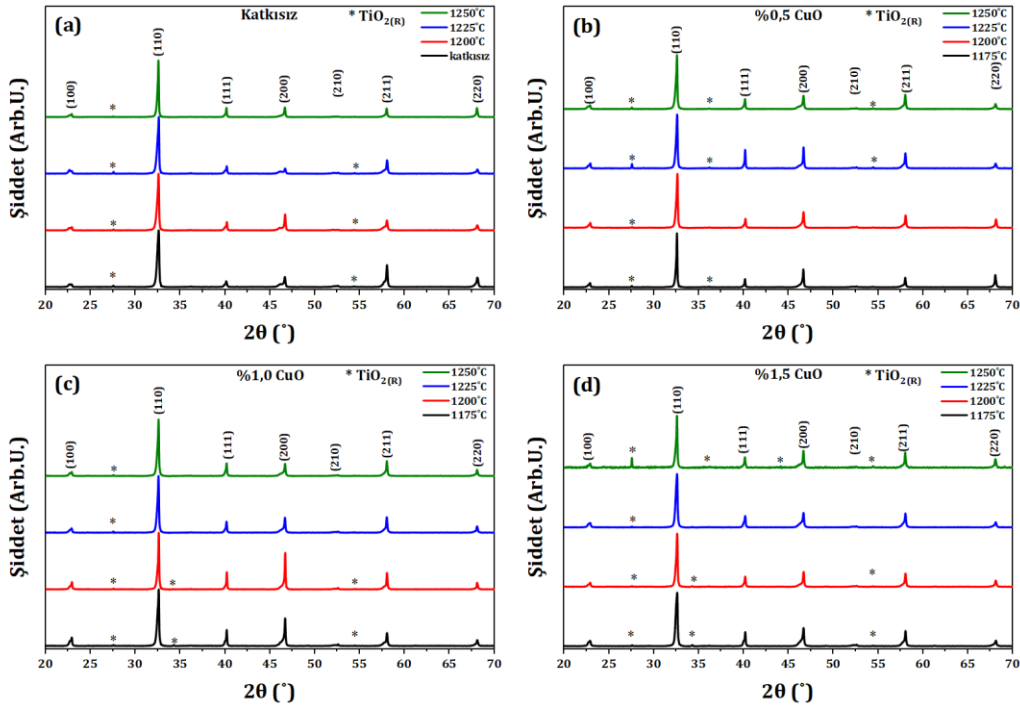


Şekil 1. $950\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 4 saat kalsine edilmiş NBT- S_nT tozunun kırınım deseni.

Gerek (111) gerekse de (200) düzlemlerine ait kırınım pikleri incelendiğinde rombohedral ve tetragonal fazlardan kaynaklı bir ayrışma bulgusunun saptanmaması, sentez işlemi sonrası yapının psedokübik faza ait olduğuna işaret etmekte ve

psedokübik NBT (JCPDS 01-089-3109 pdf) katı eriyiği ile kırınım desenleri benzeşmektedir. Bu durum perovskit yapının A konumunda meydana gelen katyon ve yüzey merkezlerdeki oksijen alt kafesinde ortaya çıkan oksijen boşlukları oluşumundan kaynaklanmaktadır (Lou, Yin, Duan, Cao ve Yin, 2018). Sr^{2+} iyonu ana NBT birim hücrelerinde tamamen çözünerek NBT- Sr_xT fazının oluşumunu sağlamış ancak stokiometrik olmayan kompozisyon nedeniyle oldukça düşük oranda TiO_2 (rutil) ikincil faz varlığı tespit edilmiştir. Molce değişen miktarlarda CuO ilavesinin ardından farklı sıcaklıklarda (1175 °C, 1200 °C, 1225 °C, 1250 °C) sinterlenen numunelere ait kırınım sonuçları her bir katkı oranı için Şekil 2'de verilmiştir. Tüm sinterleme sıcaklıklarında, stokiometrik olmayan kompozisyon nedeniyle TiO_2 varlığı gözlenmekle

birlikte, $2\theta \approx 27^\circ$ civarındaki ana pik şiddeti oldukça düşüktür ve perovskit yapı oluşumunu etkilememektedir. Şekil 1'de verilen kalsinasyon sonucu ile benzer şekilde tüm kompozisyonlar ve sinterleme sıcaklıkları için (111) düzlemlerinde $R3c$ simetrisine işaret eden bir pik ayrışması mevcut değildir. Öte yandan tetragonal simetriyi ($P4mm$) işaret eden $(001)_T/(100)_T$ ve $(002)_T/(200)_T$ pik ayrışmaları $22,5-23^\circ$ ile $46-47^\circ$ kırınım açısı aralıklarında gözlenmektedir. $(200)_T$ düzleminin kırınım piki daha şiddetli kırınım oluşturan $(200)_{pc}$ piki ile çakışma durumundadır. Ancak $(110)_T/(101)_T$ ve $(220)_T/(202)_T$ düzlemlerinde tetragonal simetriyi işaret eden belirgin bir ayrışma saptanmamıştır. Böylece, kristal fazın tetragonal simetriyi de barındıran psedokübik yapıca zengin olduğu anlaşılmaktadır (He ve diğ., 2020).



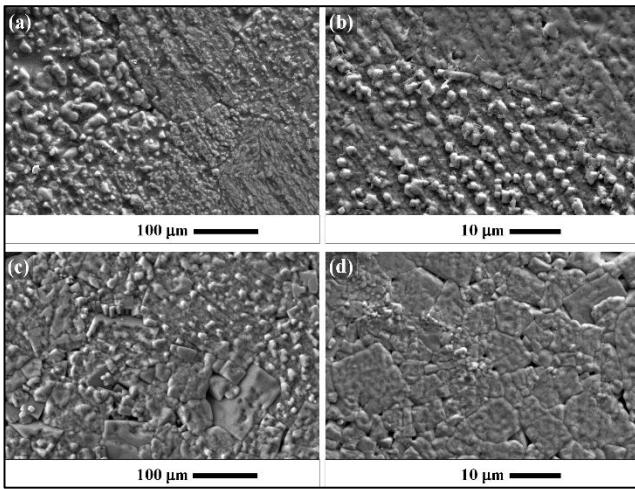
Şekil 2. Farklı sıcaklıklarda sinterlenen NBT- $\text{Sr}_x\text{T}_y\text{CuO}$ seramiklerinin kıyaslamalı XRD kırınım desenleri, (a) $y=0$, (b) $y=0,5$, (c) $y=1,0$, (d) $y=1,5$.

Bununla birlikte artan CuO katkı oranına bağlı olarak sinterleme sonrası herhangi bir CuO kalıntı faz varlığı bulgusuna rastlanmamaktadır. Sinterleme yardımcısı CuO katkısı perovskit fazının oluşumunu etkilememiş fakat JCPDS kırınımına göre pik pozisyonları yüksek açı değerlerine doğru $\approx 0,02^\circ$ mertebesinde kaymıştır. Bu durumun Cu^{2+} iyonunun perovskit birim hücrelerinin B konuma girmesi sonucu düzlemler arası mesafeyi değiştirmesinden kaynaklanması muhtemeldir.

Farklı oranlarda CuO katkısı içeren seramiklerin yoğunluklarının sinterleme sıcaklıklarına göre değişimi Arşimet yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Artan sinterleme sıcaklığı ile ölçülen yoğunluk değerlerinde tüm CuO katkı oranlarında gözenekliliğin artmasına

bağlı olarak azalma söz konusudur. Bununla birlikte, molce %0,5 CuO katkılı seramiklere uygulanan tüm sinterleme sıcaklıkları için diğer katkı oranlarına göre daha yüksek yoğunluklar elde edilmiştir. 1175°C, 1200°C, 1225°C ve 1250°C'de 3 saat sinterlenmiş %0,5 CuO katkılı seramiklerin yoğunlukları sırasıyla, 5,60, 5,65, 5,42 ve 5,39 g/cm³ olarak hesaplanmıştır. Bağlı yoğunluk dereceleri ise sırasıyla yaklaşık %97, %98, %94,2 ve %93,8 olmaktadır. CuO katkısının tane büyümesine yol açarak yoğunlaşma davranışını etkilemektedir. Bu durumun yoğunlaşma üzerindeki etkisi artan sinterleme sıcaklıkları ile daha belirginleşmekte ve artan sinterleme sıcaklığına bağlı olarak yoğunluk giderek düşmektedir. Şekil 3'te 1200 °C'de 3 saat sinterlenen %0-1,5 CuO katkılı seramiklerin

parlatılmış kırık kesit yüzeylerinin SEM mikrografları görülmektedir. Mikroyapı görüntülerinden, artan CuO oranıyla birlikte gözeneklilik daha belirginleşmeye başlamaktadır. Bu bulgunun artan CuO oranıyla azalan yoğunluk ölçümleri ile örtüştüğü görülmektedir. Sinterleme esnasında oluşan Na^+ ile Bi^{3+} boşlukları, Sr^{2+} iyon eksikliğinden kaynaklanan katyon boşlukları ve Cu^{2+} iyonlarının B konumuna yerleşmesi boşluk konsantrasyonuna ve benzer şekilde mikroyapı oluşumuna etki etmekte ve literatürde NBT-ST seramiklerine yapılan Fe_2O_3 katkısı sonucu Fe^{2+} iyonlarının etkileşimine benzerlik göstermektedir (Shi ve diğ., 2019). Bununla birlikte hata kimyası, mikroyapı özellikleri ve yoğunlaşma derecesi seramiklerin elektriksel özelliklerini belirlemektedir.

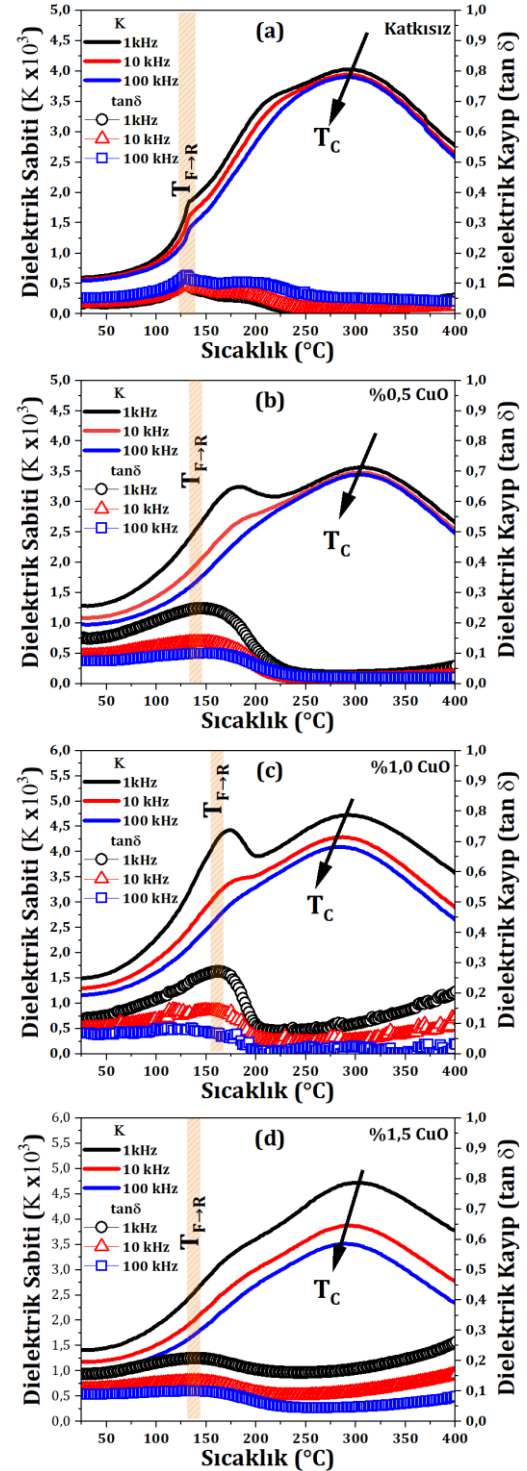


Şekil 3. 1200°C'de sinterlenen NBT- $\text{S}_n\text{T}+\text{yCuO}$ seramiklerinin parlatılmış ve termal dağılmış kesit görüntüleri, (a) $y=0$, (b) $y=0,5$, (c) $y=1,0$ ve (d) $y=1,5$.

4.2. Elektriksel Karakterizasyon

En yüksek yoğunlaşma miktarına 1200°C'de gerçekleştirilen sinterleme ile ulaşıldığından elektriksel özelliklerin karakterizasyonu bu numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4, farklı CuO katkı oranlarında kutupsuz seramikler için LCR metre yardımıyla ısıtma sırasında değişen frekanslarda ($f = 1, 10$ ve 100 kHz) sıcaklığa (T) bağlı kapasitans ölçüm sonuçlarından hesaplanan dielektrik sabiti (K) ve dielektrik kayıp ($\tan \delta$) eğrilerini göstermektedir. Şekil 4(a-d)'de görülen K - T eğrilerinde, düşük ve yüksek sıcaklıkta olmak üzere iki farklı dielektrik anomali davranışı dikkat çekmektedir. Bu anomali davranışlarından düşük sıcaklıkta olan normal ferroelektrik (F)-relaksör ferroelektrik (RF) faz geçiş sıcaklığına ($T_{F \rightarrow R}$), yüksek sıcaklıktaki anomali ise paraelektrik faz geçişinin başladığı T_C sıcaklığına denk gelmektedir (Cross, 1987; Liu, ve diğ., 2017c; Weyland ve diğ., 2016). Bu türdeki bir davranış NBT esaslı katı çözeltilerinde çoğunlukla gözlemlenen bir durumdur ve polar nano bölgelerin varlığıyla (PNR) ilişkilidir. Tüm kompozisyonlarda K sabiti eğrisinin pik bölgesinde

genişleme ile birlikte artan frekanslarda T_C sıcaklığının değişimi; NBT- $\text{S}_n\text{T}+\text{yCuO}$ seramik kompozisyonun RF doğasına işaret etmektedir (Acosta ve diğ., 2014; Cao ve diğ., 2016; Cross, 1987; Liu, G. ve diğ., 2020a).

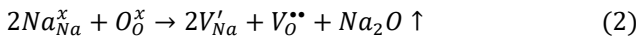
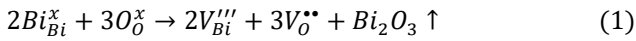


Şekil 4. Kutupsuz NBT- $\text{S}_n\text{T}+\text{yCuO}$ seramiklerinin farklı frekanslarda sıcaklığa bağlı K ve $\tan \delta$ davranışları, (a) $y=0$, (b) $y=0,5$, (c) $y=1,0$ ve (d) $y=1,5$.

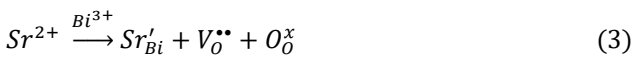
$T > T_{F \rightarrow R}$ sıcaklığından itibaren uzun mesafeli ferroelektrik düzenin yerini polar rombohedral $R3c$ ve

nonpolar tetragonal $P4bm$ bölgelere bırakması sonucu ergodik RF davranışı açığa çıkarmaktadır. T_C sıcaklığını aşan sıcaklıklarda ise paraelektrik faz geçişinin tamamlandığı Burns sıcaklığı (T_B) olarak adlandırılan sıcaklığa değin RF davranış devam etmektedir. $T_{F \rightarrow R}$ sıcaklığından daha düşük sıcaklık değerlerinde ise ergodik olmayan ve uzun mesafeli ferroelektrik domain dizilimi nedeniyle normal ferroelektrik davranış gözlenmekte (He ve diğ., 2020; Jo ve diğ., 2011; Jo, Daniels, Damjanovic, Kleemann ve Rödel, 2013) ve CuO oranına bağlı olarak $T_{F \rightarrow R}$ artmaktadır. NBT- S_r T+yCuO kompozisyonları için $T_{F \rightarrow R}$, K_{maks} ve T_C , değerleri ile oda sıcaklığındaki (25 °C) K ve $\tan \delta$ değerleri Tablo 1'de topluca verilmiştir.

NBT esaslı seramik sistemlerinin yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen sinterleme süreçlerinde, A konumunu işgal eden katyonları içeren oksit bileşenlerin buharlaşması nedeniyle katyon (V_M'') ve oksijen boşlukları (V_O'') birlikte oluşmaktadır. NBT birim hücresinde A konumunda rasgele dizilime sahip Na^+ ve Bi^{3+} buharlaşmasına karşılık V_O'' kusur oluşumunu gösteren hata denklemleri Kröger-Vink notasyonuna göre Eşitlik 1 ve 2 ile ifade edilir (Gozuacik & Alkoy, 2024; Yang ve diğ., 2018):

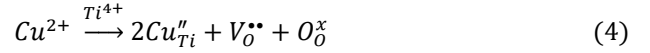


Hata reaksiyonları uyarınca sinterleme işlemi sırasında belirli bir oranda anyon ve katyon boşluklarının oluşması muhtemeldir. Katyon boşlukları genel itibariyle elektriksel iletim sürecinde potansiyel bir bariyer oluştururken oksijen boşlukları ise aksine iletkenliği kolaylaştırıcı bir etki yaratır (Gozuacik ve Alkoy, 2024). Bununla birlikte NBT kompozisyonuna perovskit hücre A konumuna yönelik alıcı katkı (Sr^{2+} , Ba^{2+} ve Ca^{2+} gibi) ile katı çözeltilerin oluşturulması sonucu meydana gelen V_O'' kusurunu gösteren Kröger-Vink notasyonlu hata denklemi ise Eşitlik 3 ile ifade edilir (Yang ve diğ., 2018):



Bununla birlikte bu çalışmada olduğu gibi A konumu stokiyometrik olmayan NBT-ST seramiklerinde oluşan katyon eksikliği yüksek hareketliliğe sahip oksijen boşluklarının oluşumunu tetiklemektedir (Frömling ve diğ., 2018). Öte yandan Sr^{2+} iyonlarının Bi^{3+} konumlarına yerleşmesi artık katyon yükü oluştururken aynı zamanda sinterleme esansında meydana gelen oksijen kayıpları neticesinde açığa çıkan V_O' ve V_O'' iyonize oksijen kusurları dielektrik davranışını etkilemektedir. (Malathi ve diğ., 2013). Ayrıca, CuO katkı miktarına paralel olarak Cu^{2+} iyonunun yapıya girerek B

konumuna yerleşmesi Eşitlik 4'te verilen hata denkleminde göre kusur oluşturabilmektedir:



Tüm bu mekanizmalar eşliğinde açığa çıkan karmaşık kusur kimyası ve meydana gelen oksijen boşlukları iletimi kolaylaştırarak özellikle %1,0 CuO katkısı itibariyle $\tan \delta$ değerlerini gerek oda sıcaklığında gerekse de yüksek sıcaklık bölgelerinde oldukça arttırmaktadır.

Normal ferroelektriklerde K - T ilişkisi T_C sıcaklığı üzerinde Curie-Weiss yasasına uygunluk sergilerken RF durumunda Curie-Weiss yasasından kuvvetli bir sapma söz konusudur (Bobrek ve diğ., 2021; Gupta, McQuade, Gibbons, Mardilovich, ve Cann, 2020). Bu sapma Eşitlik 5'te verilen Curie-Weiss yasasının bir formu olan Uchino-Nomura fonksiyonu (Uchino ve Nomura, 1982) ile tanımlanabilir:

$$\frac{1}{\epsilon_r} - \frac{1}{\epsilon_m} = \frac{(T-T_m)^\gamma}{C} \quad (5)$$

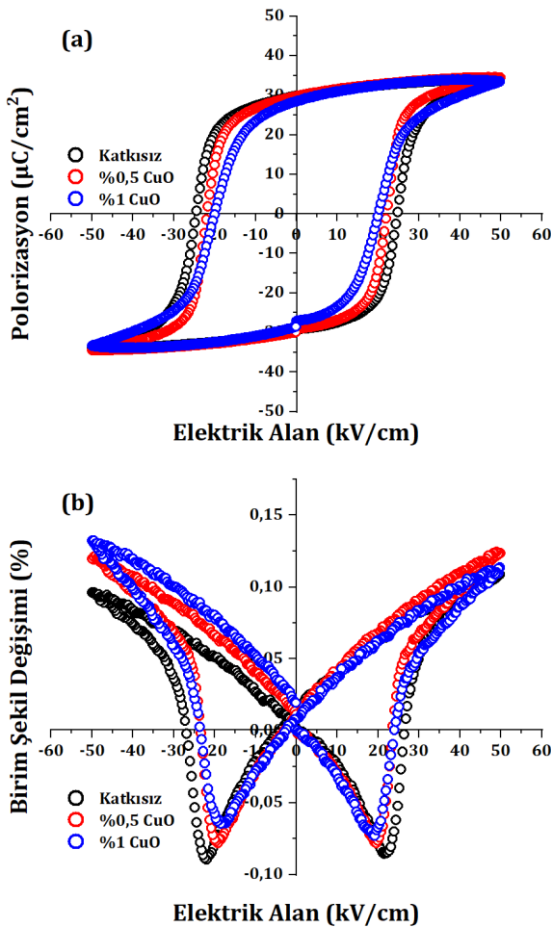
Burada ϵ_r ; $T > T_C$ sıcaklığındaki dielektrik sabitini, ϵ_m en yüksek dielektrik sabitini, T_m en yüksek dielektrik sabitinin (K_{maks}) gözlemlendiği sıcaklığı, γ yayınımsallık sabitini, C ise malzemeye özgü Curie sabitini ifade etmektedir. Normal ferroelektrik malzemeler için $\gamma=1$, relaksör ferroelektriklerde ise yayınımsal faz geçiş davranışından dolayı $\gamma=2$ kabul edilmektedir (Kaya, Menşur-Alkoy, Gürbüz, Öner, Alkoy, 2018). Eşitlik 5 yardımıyla 10 kHz frekans değeri için $\ln(1/\epsilon_r - 1/\epsilon_m)$ değerlerine karşın $\ln(T-T_m)$ değerleri grafiğinde görülen doğrusal eğrinin eğiminden faydalanarak her katkı oranı için γ sabiti hesaplanarak Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca C sabitleri ise ϵ_m/ϵ_r karşın $(T-T_m)^\gamma$ grafiği üzerinde çizilen doğrusal eğrinin eğiminden hesaplanarak Tablo 1'de tüm katkı oranları için verilmiştir. γ sabitinin tüm kompozisyonlarda $\gamma > 1,84$ olması kompozisyonun $T_{F \rightarrow R}$ itibariyle RF davranış sergilediği kanısını pekiştirmektedir.

Tablo 1. Farklı CuO katkı oranları ile 1200°C'de 3 saat sinterlenmiş seramiklerin dielektrik özellikleri.

Özellikler (10 kHz)	Molce CuO Katkısı			
	Katkısız	%0,5	%1,0	%1,5
$K(25^\circ C)$	571	1088	1301	1028
$\tan \delta(25^\circ C)$	0,04	0,09	0,09	0,11
$K_{maks}(T_C)$	3943	3481	4290	3873
$T_{F \rightarrow R}(^\circ C)$	131	137	149	139
$T_C(^\circ C)$	293	303	287	293
γ	1,92	1,99	1,85	1,84
$C(x10^7)$	6,54	9,57	5,87	5,84

Alan etkili polarizasyon (P) ölçümleri 50 kV/cm elektrik alan (E) altında 1 Hz frekansında ferroelektrik test cihazında alınmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen P - E

eğrileri ile alan etkili birim şekil değişimi ($S-E$) grafikleri 1200 °C'de 3 saat sinterlenen NBT- S_n T+yCuO kompozisyonları için Şekil 5a ve b'de, verilmiştir. Kendinden kutuplu seramiklerde histerezis davranışı ferroelektrik domainlerin ve domain duvarlarının hareketiyle gerçekleşmektedir (Verma ve diğ., 2018). Tüm katkı oranları için seramiklere 10-50 kV/cm arasında A.C. alan uygulanarak ölçümler alınmış ve $y=0, 0,5$ ve $1,0$ mol oranlarında normal ferroelektrik davranışa işaret eden histerezis döngüleri elde edilmiş ve 50 kV/cm'e ait sonuçlar Şekil 5a'da görselleştirilmiştir.



Şekil 5. NBT- S_n T+yCuO seramiklerinin alan etkili, (a) $P-E$ ve (b) $S-E$ döngüleri.

Ferroelektrik bir malzemede polarizasyon doğrultusunun dönüşümü domainlerin varlığıyla ilişkilidir. Rombohedral simetrideli domainlerde 109° , 71° ve 180° domain duvar sınırları mevcut olmasına karşın tetragonal simetri yalnızca 90° ve 180° domain duvarlarına sahiptir. 90° domain dönüşümü, diğer açılar ile kıyaslandığında çok daha yüksek elektrik alanları gerektirmektedir (Kaya ve diğ., 2018). Bu nedenle sinterlenmiş seramiklerde bulunan tetragonal simetri E_c değerlerinin yükseltmiş olması muhtemeldir. Ayrıca, katyon ve oksijen boşluklarını içeren karmaşık noktasal kusurların varlığı katkısız seramiklerde domain duvar

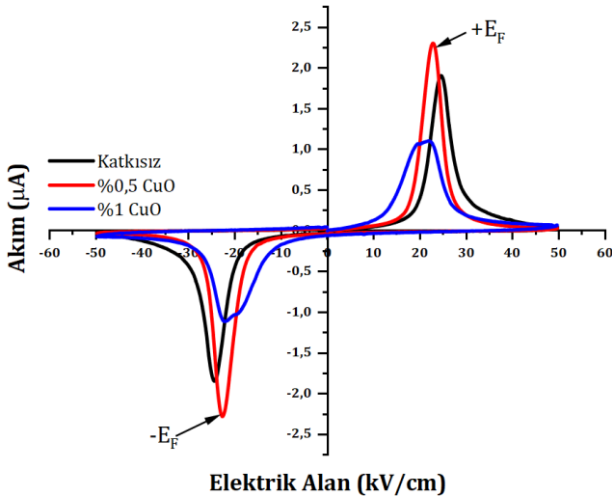
hareketini sınırlamış ve daha yüksek E_c 'ye sahip olmasına katkıda bulunmuştur. Artan katkı oranıyla birlikte, Eşitlik 4'te verilen hata denklemi uyarınca oksijen boşluk konsantrasyonu yükselmektedir. Artan $V_O^{\bullet\bullet}$ konsantrasyonu domain ve domain duvar hareketini kolaylaştırırken (Verma ve diğ., 2018) E_c değerlerini düşürmeye başlamıştır. Ancak %1,5 CuO katkı oranında histerezis eğrisi, artan kusur seviyelerinin yük taşınım mekanizmalarına katkıda bulunması nedeniyle yüksek iletkenlik davranışı sergilemiş ve $P_r > P_m$ durumu elde edilmiştir. Bu yüzden $P-E$ ve $S-E$ histerisiz eğrileri elde edilemediği için %1,5 CuO katkı oranı için Şekil 5'te gösterilmemiştir. Ölçümler sonucunda elde edilen P_m , P_r ve E_c değerleri ise Tablo 2'de ayrıca verilmiştir. Bununla birlikte NBT- S_n T+yCuO seramiklerinin yüksek P_m , P_r ve E_c değerleri ile sergilediği ferroelektrik karakter literatürde yapılmış diğer çalışmalarda bildirilen NBT esaslı seramiklerle benzeşmektedir (Berksoy-Yavuz ve diğ., 2022; Cao ve diğ., 2016; He ve diğ., 2020; Li ve diğ., 2016; Liu, G, ve diğ., 2020b; Malathi ve diğ., 2013). Piezoelektrik karakteri gösteren bipolar alan etkili birim şekil değişimi yüzdeleri 50 kV/cm alan değeri için Şekil 5b'de görülmektedir. Katkısız NBT- S_n T seramiklerinde büyük bir negatif %S değerine sahip kelebek şeklinde bir bipolar $S-E$ eğrisi meydana gelmiş olmakla birlikte bu durum ferroelektrik karakterdeki bir piezoelektrik özelliğe işaret etmektedir (Kim ve diğ., 2017; Liu ve diğ., 2017c; Liu, Shen, Zhai, 2019d). Artan CuO katkısına bağlı olarak negatif %S değeri azalırken, pozitif bölgedeki %S değerleri artmakta ve asimetri olmaktadır.

Tablo 2. NBT- S_n T+yCuO seramiklerinin 50 kV/cm alan etkisinde polarizasyon (P), % şekil değişimi (%S) ve depolarizasyon alanı (E_c) değerleri.

Özellikler	% Mol CuO Katkı			
	Katkısız	%0,5	%1,0	%1,5
P_r ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)	29,81	29,63	28,55	-
P_m ($\mu\text{C}/\text{cm}^2$)	34,08	34,48	33,42	-
E_{+c} (kV/cm)	+24,98	+22,38	+20,41	29,48
E_{-c} (kV/cm)	-24,81	-22,08	-20,14	31,15
S(%)	0,109	0,124	0,132	0,087

Şekil 6 farklı CuO katkı oranları için alan etkili $I-V$ davranışı grafiğini göstermektedir. Şekil 6'ya göre, yüksek iletkenliğe sahip %1,5 CuO katkılı seramikler haricinde diğer NBT- S_n T+yCuO seramik kompozisyonları, elektrik alan etkisinde $+E_F$ ve $-E_F$ eşdeğer elektrik alan değerlerinde birbirine benzer iki akım piki oluşturmaktadır. Bu akım pik noktaları davranışsal olarak tipik ferroelektrik seramiklerde gözlemlenmekle birlikte $+E_F$ ile $-E_F$ noktaları ferroelektrik domainlerin elektrik alan etkisinde kutup yönlerini değiştirmekte olduğu göstermektedir. (Liu, ve diğ., 2017b; Liu, ve diğ., 2017c; Zou ve diğ., 2019). Bununla birlikte en keskin pik davranışı %0,5 CuO katkılı seramiklerde tespit edilmiştir. Ayrıca, hem $P-E$ ve $S-E$ eğrileri hem de $I-V$ davranışı birbiriyle uyumludur ve

tüm NBT-S_nT+yCuO kompozisyonlarının ferroelektrik karakterde olduğu sonucunu açıkça ortaya koymaktadır.



Şekil 6. NBT-SnT+yCuO seramiklerinin alan etkili I-V davranışı.

5. Sonuçlar

Stokiyometrik olmayan NBT-S_nT seramik kompozisyonu katı hal kalsinasyonu yöntemiyle ikincil faz olarak eser miktarda rutil (TiO₂) varlığında sentezlenmiştir. NBT-S_nT tozu psedokübik perovskit yapıdadır. Elde edilen stok tozuna farklı mol oranlarında CuO katkısı yapılarak 1175°-1250°C'de 3 saat süreyle gerçekleştirilen ısı işlemi ile NBT-S_nT+yCuO seramikleri elde edilmiştir. Sinterlenen seramiklerde ana faz psedokübik yapıya ait olmakla birlikte P4mm simetrisi varlığına dair pik ayrışmaları bulunmakta ve (200)_T düzlemi (200)_{pc} ile çakışmaktadır. Bununla birlikte (110)_T/(101)_T ve (220)_T/(202)_T düzlemlerine ait ayrışma bulgusu gözlenmediğinden tüm seramik kompozisyonlarının tetragonal fazı içeren psedokübik yapıca zengin olduğu belirlenmiştir.

Tüm kompozisyonlar için sıcaklığa bağlı dielektrik ölçüm sonuçlarında iki farklı anomali davranışı tespit edilmiştir. T_{F→R} ile gösterilen düşük sıcaklık anomalisi PNR'lerin ısı uyarımı neticesinde meydana gelmekte ve relaksör davranışın başladığı sıcaklığı göstermektedir. T_{F→R} sıcaklığı CuO oranına bağlı olarak yükselmektedir. Öte yandan, T_c ile gösterilen yüksek sıcaklık anomalisi paraelektrik faza geçişin başladığı sıcaklığı işaret etmektedir. Katyon (V_M'') ve oksijen boşlukları (V_O'') birbirini dengeleyecek şekilde yüksek sıcaklıkta sinterleme esnasında oluşmaktadır. Stokiyometrik olmayan kimi NBT-ST seramiklerinde, A konumunun katyon eksikliği yüksek hareketliliğe sahip ek oksijen boşlukları yaratması ve Sr²⁺ ile Cu²⁺ iyonlarının A konumuna yerleşmesi sonucu iyonize oksijen boşluklarının meydana gelmesi ile iletkenlik arttırmaktadır. Bu nedenle tan δ değerleri CuO oranıyla yükselmektedir. T_{F→R} sıcaklığı itibarıyla başlayan

ergodik relaksör davranışın derecesi ise yayınımsallık sabiti γ ile belirlenmiş ve en yüksek değer %0,5CuO katkısında elde edilmiştir.

Alan etkili P-E ve S-E eğrileri normal ferroelektrik davranışa işaret eden döngüler oluşturmaktadır. Tetragonal yapının varlığı 180° haricinde 90°'lik domain hareketini de gerektirmektedir. Diğer domain açılarına kıyasla 90°'lik domain dönüşümünün daha yüksek enerji gereksinimi ve karmaşık hata kimyası da fazladan domain hareketliliğine etkiye bulunduğundan tüm kompozisyonlarda yüksek E_c değerleri elde edilmektedir. %1,5 CuO katkılı seramiklerde kusur seviyelerinin yük taşıma mekanizmalarına katkıda bulunması yüksek iletkenlik davranışı ve kayıplı bir histeresis döngüsü oluşturmuştur. Katkısız, %0,5 ve %1 CuO katkılı seramiklerinde S-E eğrileri negatif (-) %S ve pozitif (+) %S pik konumlarına sahip standart ferroelektrik kelebek eğrisi oluşturmaktadır. Diğer taraftan, CuO katkı miktarına bağlı olarak negatif %S azalmakta ancak asimetri oluşumu açığa çıkmaktadır. I-V davranışı göz önüne alındığında NBT-S_nT+yCuO seramik kompozisyonlarının +E_F ve -E_F olmak üzere iki eşdeğer akım piki oluşturduğu saptanmıştır. Bu pik konumları S-E ve P-E eğrilerinde olduğu gibi ferroelektrik domain hareketliliğini kanıtlar niteliktedir.

Teşekkür

Bu çalışmadaki yapısal ve elektriksel karakterizasyonlara destek sağlayan Gebze Teknik Üniversitesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümüne ve Piezoaygıtlar araştırma grubuna teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkısı

Gülbeniz YALDIZ İNCE, deneylerin gerçekleştirilmesi, literatür araştırması, deney sonuçlarının analizi ve makale taslak yazımı; Mustafa Yunus KAYA, kavramsallaştırma, metodoloji, literatür araştırması, deney sonuçlarının analizi, yorumlanması, tartışılması, makalenin yazımı ve yazımın gözden geçirilmesi konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

Acosta, M., Jo, W., & Rödel, J. (2014). Temperature- and Frequency-Dependent Properties of the 0.75Bi_{1/2}Na_{1/2}TiO₃-0.25SrTiO₃ Lead-Free Incipient Piezoceramic. *Journal of the American Ceramic Society*, 97(6), 1937-1943. doi: <https://doi.org/10.1111/jace.12884>

- Acosta, M., Novak, N., Rojas, V., Patel, S., Vaish, R., Koruza, J., Rossetti, G. A., Jr., & Rödel, J. (2017). BaTiO₃-based piezoelectrics: Fundamentals, current status, and perspectives. *Applied Physics Reviews*, 4(4). doi: <https://doi.org/10.1063/1.4990046>
- Ang, C., & Yu, Z. (2006). High, Purely Electrostrictive Strain in Lead-Free Dielectrics. *Advanced Materials*, 18(1), 103-106. doi: <https://doi.org/10.1002/adma.200500951>
- Berksoy-Yavuz, A., Kaya, M. Y., Avci, T., Cakirbas, G., & Menşur, E. (2022). Fabrication of 0.94NBT-0.06BT textured ceramics using plate-like NBT templates and their electrical properties. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 33(5), 2336-2349. doi: <https://doi.org/10.1007/s10854-021-07433-w>
- Berksoy-Yavuz, A., Kaya, M. Y., Yalcin, E., Gozuacik, N. K., & Mensur, E. (2024). Effect of texture on ultra-high strain behavior in eco-friendly NBT-0.25ST ceramics using NBT template. *Journal of the American Ceramic Society*, 107(8), 5502-5511. doi: <https://doi.org/10.1111/jace.19834>
- Bobrek, I., Berksoy-Yavuz, A., Kaya, M. Y., Alkoy, S., Okatan, M. B., Misirlioglu, I. B., & Mensur-Alkoy, E. (2021). Temperature Dependent Electrical and Electrocaloric Properties of Textured 0.72PMN-0.28PT Ceramics*. *Integrated Ferroelectrics*, 223(1), 214-227. doi: <https://doi.org/10.1080/10584587.2021.1964300>
- Cao, W. P., Li, W. L., Dai, X. F., Zhang, T. D., Sheng, J., Hou, Y. F., & Fei, W. D. (2016). Large electrocaloric response and high energy-storage properties over a broad temperature range in lead-free NBT-ST ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 36(3), 593-600. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2015.10.019>
- Cross, L. E. (1987). Relaxor ferroelectrics. *Ferroelectrics*, 76(1), 241-267. doi: <https://doi.org/10.1080/00150198708016945>
- Cui, C., Pu, Y., Gao, Z., Wan, J., Guo, Y., Hui, C., Wang, Y., & Cui, Y. (2017). Structure, dielectric and relaxor properties in lead-free ST-NBT ceramics for high energy storage applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 711, 319-326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.04.023>
- EU-Directive. (2003). 2002/96/EC Waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Official Journal of the European Union L*, 37, 24-38.
- EU-Directive. (2011). Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (RoHS). *Official Journal of the European Union*, 2011/65/EU(88).
- Fan, P., Liu, K., Ma, W., Tan, H., Zhang, Q., Zhang, L., Zhou, C., Salamon, D., Zhang, S.-T., Zhang, Y., Nan, B., & Zhang, H. (2021). Progress and perspective of high strain NBT-based lead-free piezoceramics and multilayer actuators. *Journal of Materiomics*, 7(3), 508-544. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmat.2020.11.009>
- Frömling, T., Steiner, S., Ayrikyan, A., Bremecker, D., Dürrschnabel, M., Molina-Luna, L., Kleebe, H.-J., Hutter, H., Webber, K. G., & Acosta, M. (2018). Designing properties of (Na_{1/2}Bi_x)TiO₃-based materials through A-site non-stoichiometry. *Journal of Materials Chemistry C*, 6(4), 738-744. doi: <https://doi.org/10.1039/C7TC03975A>
- Gao, X., Yang, J., Wu, J., Xin, X., Li, Z., Yuan, X., Shen, X., & Dong, S. (2020). Piezoelectric Actuators and Motors: Materials, Designs, and Applications. *Advanced Materials Technologies*, 5(1), 1900716. doi: <https://doi.org/10.1002/admt.201900716>
- Gozuacik, N. K., & Alkoy, S. (2024). Origin of ultrahigh field-induced strain in the Gd-doped 0.854Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃-0.12Bi_{0.5}K_{0.5}TiO₃-0.026BaTiO₃ ternary ceramic system. *Japanese Journal of Applied Physics*. doi: <https://doi.org/10.35848/1347-4065/ad7147>
- Gupta, S. K., McQuade, R., Gibbons, B., Mardilovich, P., & Cann, D. P. (2020). Electric field-induced strain in Sr(Hf_{0.5}Zr_{0.5})O₃-modified Bi_{0.5}(Na_{0.8}K_{0.2})_{0.5}TiO₃ piezoelectric ceramics. *Journal of Applied Physics*, 127(7). doi: <https://doi.org/10.1063/1.5132536>
- He, H., Lu, X., Li, M., Wang, Y., Li, Z., Lu, Z., & Lu, L. (2020). Thermal and compositional driven relaxor ferroelectric behaviours of lead-free Bi_{0.5}Na_{0.5}TiO₃-SrTiO₃ ceramics. *Journal of Materials Chemistry C*, 8(7), 2411-2418. doi: <https://doi.org/10.1039/C9TC04864B>
- Hill, N. A. (2000). Why Are There so Few Magnetic Ferroelectrics? *The Journal of Physical Chemistry B*, 104(29), 6694-6709. doi: <https://doi.org/10.1021/jp000114x>
- Hiruma, Y., Imai, Y., Watanabe, Y., Nagata, H., & Takenaka, T. (2008). Large electrostrain near the phase transition temperature of (Bi_{0.5}Na_{0.5})TiO₃-SrTiO₃ ferroelectric ceramics. *Applied Physics Letters*, 92(26). doi: <https://doi.org/10.1063/1.2955533>

- Jo, W., Daniels, J., Damjanovic, D., Kleemann, W., & Rödel, J. (2013). Two-stage processes of electrically induced-ferroelectric to relaxor transition in $0.94(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3\text{-}0.06\text{BaTiO}_3$. *Applied Physics Letters*, 102(19). doi: <https://doi.org/10.1063/1.4805360>
- Jo, W., Schaab, S., Sapper, E., Schmitt, L. A., Kleebe, H.-J., Bell, A. J., & Rödel, J. (2011). On the phase identity and its thermal evolution of lead free $(\text{Bi}_{1/2}\text{Na}_{1/2})\text{TiO}_3\text{-}6\text{ mol}\%$ BaTiO_3 . *Journal of Applied Physics*, 110(7), 074106. doi: <https://doi.org/10.1063/1.3645054>
- Kaya, M. Y., Menşur-Alkoy, E., Gürbüz, A., Öner, M., & Alkoy, S. (2018). Influence of Compositional Variation on the Electrical Properties of $[\text{Pb}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3]\text{-}[\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3]$ Ceramics and Their Transducer Application. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, 65(7), 1268-1277. doi: <https://doi.org/10.1109/TUFFC.2018.2829800>
- Kim, S., Choi, H., Han, S., Park, J. S., Lee, M. H., Song, T. K., Kim, M.-H., Do, D., & Kim, W.-J. (2017). A correlation between piezoelectric response and crystallographic structural parameter observed in lead-free $(1-x)(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3\text{-}x\text{SrTiO}_3$ piezoelectrics. *Journal of the European Ceramic Society*, 37(4), 1379-1386. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2016.11.023>
- Krauss, W., Schütz, D., Mautner, F. A., Feteira, A., & Reichmann, K. (2010). Piezoelectric properties and phase transition temperatures of the solid solution of $(1-x)(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3\text{-}x\text{SrTiO}_3$. *Journal of the European Ceramic Society*, 30(8), 1827-1832. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2010.02.001>
- Li, Q., Wang, J., Ma, Y., Ma, L., Dong, G., & Fan, H. (2016). Enhanced energy-storage performance and dielectric characterization of $0.94\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-}0.06\text{BaTiO}_3$ modified by CaZrO_3 . *Journal of Alloys and Compounds*, 663, 701-707. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2015.12.194>
- Liu^b, G., Dong, J., Zhang, L., Yan, Y., Jing, R., & Jin, L. (2020). Phase evolution in $(1-x)(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})\text{TiO}_3\text{-}x\text{SrTiO}_3$ solid solutions: A study focusing on dielectric and ferroelectric characteristics. *Journal of Materiomics*, 6(4), 677-691. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jimat.2020.05.005>
- Liu^a, G., Dong, J., Zhang, L., Yu, L., Wei, F., Li, Y., Gao, J., Hu, J., Yan, Y., Li, Q., Yu, K., & Jin, L. (2020). $\text{Na}_{0.25}\text{Sr}_{0.5}\text{Bi}_{0.25}\text{TiO}_3$ relaxor ferroelectric ceramic with greatly enhanced electric storage property by a B-site ion doping. *Ceramics International*, 46(8, Part B), 11680-11688. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.01.199>
- Liu^b, X., Li, F., Li, P., Zhai, J., Shen, B., & Liu, B. (2017). Tuning the ferroelectric-relaxor transition temperature in NBT-based lead-free ceramics by Bi nonstoichiometry. *Journal of the European Ceramic Society*, 37(15), 4585-4595. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2017.05.042>
- Liu^a, X., Li, F., Zhai, J., Shen, B., Li, P., & Liu, B. (2017). Composition-induced structural transitions and enhanced strain response in nonstoichiometric NBT-based ceramics. *Journal of the American Ceramic Society*, 100(8), 3636-3645. doi: <https://doi.org/10.1111/jace.14918>
- Liu^d, X., Shen, B., & Zhai, J. (2019). Designing novel sodium bismuth titanate lead-free incipient perovskite for piezoactuator applications. *Journal of the American Ceramic Society*, 102(11), 6751-6759. doi: <https://doi.org/10.1111/jace.16533>
- Liu^c, X., Zhai, J., Shen, B., Li, F., Zhang, Y., Li, P., & Liu, B. (2017). Electric-field-temperature phase diagram and electromechanical properties in lead-free $(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})\text{TiO}_3$ -based incipient piezoelectric ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 37(4), 1437-1447. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2016.12.020>
- Lou, G., Yin, Q., Duan, A., Cao, D., & Yin, X. (2018). Structure, dielectric properties and impedance analysis of lead-free $(1-x)\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-}x\text{SrTiO}_3$ ceramics. *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 29(8), 6283-6288. doi: <https://doi.org/10.1007/s10854-018-8607-1>
- Malathi, A. R., Devi, C. S., Kumar, G. S., Vithal, M., & Prasad, G. (2013). Dielectric relaxation in NBT-ST ceramic composite materials. *Ionics*, 19(12), 1751-1760. doi: <https://doi.org/10.1007/s11581-013-0921-2>
- Park, S.-E., & Hong, K. S. (1997). Variations of Structure and Dielectric Properties on Substituting A-site Cations for Sr^{2+} in $(\text{Na}_{1/2}\text{Bi}_{1/2})\text{TiO}_3$. *Journal of Materials Research*, 12(8), 2152-2157. doi: <https://doi.org/10.1557/JMR.1997.0288>
- Rahman, J. U., Hussain, A., Maqbool, A., Ryu, G. H., Song, T. K., Kim, W.-J., & Kim, M. H. (2014). Field induced strain response of lead-free BaZrO_3 -modified $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-BaTiO}_3$ ceramics. *Journal of Alloys and Compounds*, 593, 97-102. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2014.01.031>

- Reichmann, K., Feteira, A., & Li, M. (2015). Bismuth Sodium Titanate Based Materials for Piezoelectric Actuators. *Materials*, 8(12), 8467-8495. doi: <https://doi.org/10.3390/ma8125469>
- Rödel, J., Jo, W., Seifert, K. T. P., Anton, E. M., Granzow, T., & Damjanovic, D. (2009). Perspective on the Development of Lead-free Piezoceramics. *Journal of the American Ceramic Society*, 92-6, 1153-1177. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2009.03061.x>
- Rödel, J., & Li, J.-F. (2018). Lead-free piezoceramics: Status and perspectives. *MRS Bulletin*, 43(8), 576-580. doi: <https://doi.org/10.1557/mrs.2018.181>
- Rödel, J., Webber, K. G., Dittmer, R., Jo, W., Kimura, M., & Damjanovic, D. (2015). Transferring lead-free piezoelectric ceramics into application. *Journal of the European Ceramic Society*, 35(6), 1659-1681. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2014.12.013>
- Saito, Y., Takao, H., Tani, T., Nonoyama, T., Takatori, K., Homma, T., Nagaya, T., & Nakamura, M. (2004). Lead-free piezoceramics. *Nature*, 432(7013), 84-87. doi: <https://doi.org/10.1038/nature03028>
- Sakata, K., & Masuda, Y. (1974). Ferroelectric and antiferroelectric properties of $(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})\text{TiO}_3\text{-SrTiO}_3$ solid solution ceramics. *Ferroelectrics*, 7(1), 347-349. doi: <https://doi.org/10.1080/00150197408238042>
- Shi, W., Zhang, L., Chen, P., Li, Y., Wang, Y., Liu, G., Yu, K., & Yan, Y. (2019). The ferroelectric, dielectric and energy storage properties of Pb-free $0.6\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-}0.4\text{SrTiO}_3$ bulk ceramics modified by Fe₂O₃. *Materials Research Express*, 6(8), 086329. doi: <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab25c7>
- Smolenskii, G., Isupov, V., Agranovskaya, A., & Krainik, N. (1961). New Ferroelectrics of Complex Composition IV. *Soviet Physics. Solid State*, 2, 2651-2654.
- Su, Q., Zhu, J., Ma, Z., Meng, X., Zhao, Y., Li, Y., & Hao, X. (2022). Enhanced energy-storage properties and charge-discharge performances in Sm^{3+} modified $(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})\text{TiO}_3\text{-SrTiO}_3$ lead-free relaxor ferroelectric ceramics. *Materials Research Bulletin*, 148, 111675. doi: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2021.111675>
- Uchino, K., & Nomura, S. (1982). Critical exponents of the dielectric constants in diffused-phase-transition crystals. *Ferroelectrics*, 44(1), 55-61. doi: <https://doi.org/10.1080/00150198208260644>
- Verma, A., Yadav, A. K., Kumar, S., Srihari, V., Rajput, P., Reddy, V. R., Jangir, R., Poshwal, H. K., Liu, S. W., Biring, S., & Sen, S. (2018). Increase in depolarization temperature and improvement in ferroelectric properties by V^{5+} doping in lead-free $0.94(\text{Na}_{0.5}\text{Bi}_{0.5})\text{TiO}_3\text{-}0.06\text{BaTiO}_3$ ceramics. *Journal of Applied Physics*, 123(22). doi: <https://doi.org/10.1063/1.5036927>
- Wang, M., Feng, Q., Wei, Y., Luo, N., Yuan, C., Zhou, C., Fujita, T., Xu, J., & Chen, G. (2021). Relaxor ferroelectric $\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5}\text{TiO}_3\text{-Sr}0.7\text{Nd}_{0.2}\text{TiO}_3$ ceramics with high energy storage density and excellent stability under a low electric field. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 157, 110209. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpics.2021.110209>
- Weyland, F., Acosta, M., Koruza, J., Breckner, P., Rödel, J., & Novak, N. (2016). Criticality: Concept to Enhance the Piezoelectric and Electrocaloric Properties of Ferroelectrics. *Advanced Functional Materials*, 26(40), 7326-7333. doi: <https://doi.org/10.1002/adfm.201602368>
- Yang, F., Li, M., Li, L., Wu, P., Pradal-Velázquez, E., & Sinclair, D. C. (2018). Defect chemistry and electrical properties of sodium bismuth titanate perovskite. *Journal of Materials Chemistry A*, 6(13), 5243-5254. doi: <https://doi.org/10.1039/C7TA09245H>
- Yang, Y., Wang, H., Bi, L., Zheng, Q., Fan, G., Jie, W., & Lin, D. (2019). High energy storage density and discharging efficiency in $\text{La}^{3+}/\text{Nb}^{5+}$ -co-substituted $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})_{0.94}\text{Ba}_{0.06}\text{TiO}_3$ ceramics. *Journal of the European Ceramic Society*, 39(10), 3051-3056. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2019.04.031>
- Zou, K., Dan, Y., Xu, H., Zhang, Q., Lu, Y., Huang, H., & He, Y. (2019). Recent advances in lead-free dielectric materials for energy storage. *Materials Research Bulletin*, 113, 190-201. doi: <https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2019.02.002>

TÜRKİYE'DE 2013-2023 YILLARI ARASINDA MAKİNE SEKTÖRÜNDE YAŞANAN İŞ KAZALARININ MALİYET ANALİZİ

Mert Can ILGIN¹, Çisil TİMURALP^{2*}

¹ Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir,

ORCID No: <https://orcid.org/0009-0007-0192-3068>

^{2*} Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği, Eskişehir,

ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-2894-3575>

Anahtar Kelimeler	Öz
İş kazası Maliyet analizi Makine sektörü İSG	<i>Her yıl büyük bir kısmı kolaylıkla önlenilecek iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu pek çok insan hayatını kaybetmekte veya engelli hale gelmektedir. İş kazalarına karşı yeterli önlem alınmamasının sonuçlarını daha net bir şekilde ortaya koyabilmek için kaza maliyetlerinin hesaplanması son derece önemlidir. İş kazalarının maliyetleri literatürde direkt ve indirekt maliyetler olarak iki gruba ayrılmaktadır. Bu çalışmada, 2013-2023 yılları arasında makine sektöründe yaşanan iş kazalarındaki bu iki grup maliyet ortaya konularak, bu maliyetin yüklediği ekonomik yükün analiz edilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmada direkt maliyetlerin hesaplanmasında 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunundan, indirekt maliyetlerin hesaplanmasında ise İngiltere Sağlık ve Güvenlik Müdürlüğü'nün "Yıllık Kaza Maliyetlerinin Hesaplanması" yaklaşımından yararlanılarak Türkiye'de 2013-2023 yılları arasında makine sektöründe gerçekleşen iş kazalarının maliyetleri karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Çalışmada iş kazası maliyetlerinin, kaza sayılarının, asgari ücretin ve döviz kurlarının artışıyla birlikte her yıl düzenli olarak artış gösterdiği ve 2023 yılında 4.470.466.863,73 TL'ye ulaşarak hesaplamaların yapıldığı 11 yıllık dönemde en yüksek değere ulaştığı görülmüştür.</i>

COST ANALYSIS OF WORK ACCIDENTS IN THE MACHINERY SECTOR BETWEEN 2013-2022 IN TURKEY

Keywords	Abstract
Work accident Cost analysis Machinery sector OHSAS	<i>Every year, many people lose their lives or become disabled due to occupational accidents and diseases, many of which could have been easily prevented. The calculation of accident costs is extremely important in order to more clearly demonstrate the consequences of not taking adequate measures against occupational accidents. The costs of occupational accidents are divided into two groups as direct and indirect costs in the literature. In this study, it is aimed to analyze the economic burden imposed by these two groups of costs in occupational accidents in the machinery sector between 2013-2023 in Turkey. The study comparatively examines the costs of occupational accidents that occurred between 2013 and 2022 by using the Social Insurance and General Health Insurance Law No. 5510 for the calculation of direct costs and the "Annual Accident Costs Calculation" approach of the UK Health and Safety Directorate for the calculation of indirect costs. In the study, it was found that the costs of occupational accidents increased steadily every year with the increase in the number of accidents, minimum wage and exchange rates, and reached 4.470.466.863,73 TL in 2023, reaching the highest value in the 11-year period of the calculations.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 14.09.2024	Submission Date : 14.09.2024
Kabul Tarihi : 14.11.2024	Accepted Date : 14.11.2024

* Sorumlu yazar: cisil@ogu.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1550211>

1. Giriş

İş kazası; işin yapılması veya yürütülmesi gibi faaliyetler esnasında oluşan, sonuç olarak da ölüm, fiziksel veya

ruhsal kayıplara neden olan olaydır. Az gelişmiş, gelişmekte ve gelişmiş olan ülkelerde ve bu ülkelerin tüm iş kollarında iş kazaları meydana gelebilmektedir.



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

İş kazaları ve meslek hastalıkları sebebi ile her yıl dünyada 2,78 milyon insan yaşamını yitirmekte ve 374 milyon yaralanma olayı meydana gelmektedir. Bu kayıplar; ülkelerin ekonomisine büyük bir maliyet yükü oluşturmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü'ne (ILO) göre, yetersiz iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarının maliyet yükünün her sene küresel Gayri Safi Yurt İçi Hasıla'nın (GSYH) % 3,94'ü olduğu tahmini yapılmaktadır (ILO, 2023).

İş kazaları beklenmeyen zamanlarda olsa bile tamamen tesadüf ya da herhangi bir neden olmaksızın ortaya çıkmaz. Çünkü işin yapıldığı alan içerisinde insan, makineler ve çalışma ortamı devamlı bir etkileşim halindedir. Bu etkileşimlerin içerisinde iş kazasına sebep olacak birçok etken ortaya çıkmaktadır. Heinrich iş kazalarının %85'inin insan hatalarından kaynaklandığını belirtmektedir. Ayrıca Heinrich'in domino kuramına göre iş kazalarının %88'inin çalışan kişi ile ilgili tehlikeli hallerden (güvensiz davranışlar), %10'unun çalışılan ortam ile ilgili tehlikeli durumlardan (güvensiz durumlar) ve %2'sinin ise önüne geçilemez beklenmedik olaylardan (doğal afet vb.) kaynaklandığı ifade edilmiştir (Manuele, 2011).

Güvensiz davranışlar, genel olarak çalışan kişinin fiziksel ve psikolojik durumu ile sağlıksız çevre koşullarından sebep meydana gelmektedir. Çalışan kişideki doğuştan gelen bozukluklar, iskelet-kas sisteminin zayıflığı, yıpranmalar, dengesizlik, kabiliyet eksikliği, eğitimsizlik veya dalgınlığa sebep olabilecek monoton bir iş, güvensiz davranışların dolayısıyla iş kazalarının en önemli sebepleri olarak gösterilmektedir (Biçer, 2007).

Güvensiz durumlara örnek olarak, üretim araç ve makinelerinin hatalı yerleştirilmesi, malzeme ve eşyaların yanlış stoklanması, koruma ekipmanı olmadan veya bakım yapılmadan kullanılan araç ve gereçler, hijyenik olmayan çalışma şartları gibi durumlar verilebilir (Yılmaz, 2009).

İş kazalarından kaynaklanan can ve mal kayıplarının ciddi seviyelere ulaşması, global olarak bu konunun ne kadar önemli olduğunu göstermiştir. İş kazalarının maliyeti, işçi, işyeri ve ulusal ekonomi üzerindeki etkileri yönünden değerlendirilmelidir.

İş kazalarının sonuçları açısından en önemlisi tartışmasız şekilde kişinin yaşamının son bulmasıdır. Şüphesiz insan yaşamına kıymet biçmek ve maliyetinin değerlendirmesini yapmak imkansızdır. Bu durumda iş kazalarının çalışan yönünden maliyetinin önemi net bir şekilde görülmekte ve en büyük bedel çalışana çıkmaktadır. İş kazası yaşayan çalışan hayatını kaybetmese de beden ve ruh sağlığında ciddi kayıpları olabilmektedir. İş kazası sonucunda iş göremez şekilde engeli olan veya çalışma gücünde kaybı olan çalışan, işsizlik sorunuyla karşılaşır. Eğer çalışan sosyal güvenlik kapsamında ise iş kazası geçirdiğinde geçici veya sürekli

iş göremezlik ödeneği almaktadır. Fakat, sürekli iş göremez duruma düştüğünde kazancı azalacağından rehabilitasyon sonrası daha az kazanacağı farklı bir işte çalışmak zorunda kalacaktır. Sosyal güvenlik kapsamında olmayan çalışanın iş kazası yaşaması ya da iş kazası sonucu can kaybının oluşması durumunda yukarıdaki ihtimal de oluşmayacaktır. Böyle bir durumun gerçekleşebileceği de göz önüne alındığında konunun ciddiyeti ve iş kazalarının çalışana maliyeti çok daha iyi anlaşılacaktır (Çakar, Akbaba, Yazıcı, Tekin ve Çakar, 2020).

Her devlet ekonomik gücünü artırmak için çeşitli iş sektörlerinde çalışmalar yapar. Bu çalışmalarda ve tüm iş sektörlerinde en önemli faktör insandır. Bu önemli faktörün korunması ve verimli bir şekilde kullanılması her devletin görevi, sorumluluğu ve isteğidir. Yetişmiş insan gücü ne kadar fazla ve kalifiye ise o ülke o kadar çok ekonomik olarak kazanç sağlayıcı çalışmalar yapar. Her alanda bu insan gücü kazanılırken ortaya çıkan iş kazaları, meslek hastalıkları ve ölümler devlete her anlamda zarar getirmektedir. İş kazaları, meslek hastalıkları ve ölümlerden sonra çalışana verilen sağlık giderleri, bağlanan geçici veya sürekli iş göremezlik ödeneği, maluliyet ya da engellilik ücretleri, ölüm durumunda 1. derece yakınlarına verilen tazminatlar, aile bireylerine bağlanan aylıklar, ölüm toplu ödemesi ve varsa evlenme durumundaki kız çocuklarına yapılan ödemeleri SGK karşılar. Kaza ve ölümler ile ilgili yapılan adli inceleme ve süreçte zaman ve maddi kayıplar da devlete yansımaktadır. Neticede doğrudan maliyet olarak hesaplanan bu giderlerin dışında, çalışma ve üretim alanında sonradan ortaya çıkan, hemen hesaplanamayan dolaylı giderler de devlete zarar olarak yansımaktadır (Öztürk, 2019).

2. Türkiye'deki İş Kazası İstatistikleri

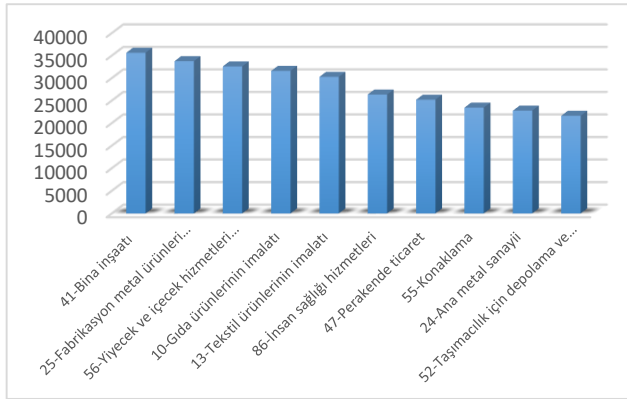
Türkiye'de çalışma alanlarında yaşanan ve resmi kayıtlara geçen iş kazaları ve meslek hastalıklarıyla ilgili en geniş veriler Sosyal Güvenlik Kurumu'nun (SGK) veri tabanından elde edilmektedir. Tablo 1'de 2013-2023 yılları arasında Türkiye'deki iş kazası istatistikleri verilmiştir.

Tablo 1'e göre çalışan sayısı 11 yıl içerisinde 13.136.339'dan 18.613.745'e ulaşarak %41,7'lik bir artış göstermiştir. İş kazası sayısı ise aynı dönemde 191.389'dan %356'luk bir artış göstererek 681.401'e ulaşmıştır. 2020 yılındaki iş kazası sayısının azalmasına neden olarak COVID-19 pandemisinin etkisinden bahsetmek mümkündür. 2020 yılındaki özel durum hariç iş kazası sayısının çalışan sayısı ile doğru orantılı olarak arttığı sonucuna varabiliriz. Meslek hastalığı sayıları ise çalışan sayısından bağımsız şekilde 2018 yılında belirgin bir artış göstermiştir. İş kazası ve meslek hastalığı sonucu ölümlerde çok farklılık olmayıp 1.147-1.966 değerleri arasında değişmektedir.

Tablo 1. 2013-2023 Yılları Arasındaki 5510 Sayılı Kanunun 4-1/a Maddesi Kapsamındaki Türkiye Geneli Sigortalı Çalışan, İş Kazası ve Meslek Hastalığı İle Ölüm Sayıları (SGK, 2023)

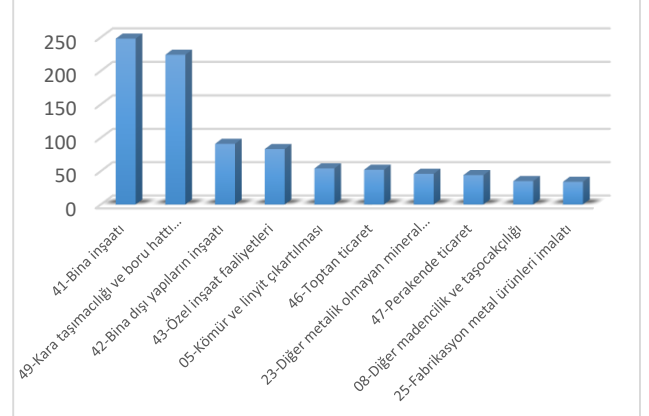
Yıl	Çalışan Sayısı	İş Kazası Sayısı	Meslek Hastalığı Sayısı	Ölüm Sayısı
2013	13.136.339	191.389	351	1.360
2014	13.967.837	221.366	494	1.626
2015	14.802.222	241.547	510	1.252
2016	15.355.158	286.068	597	1.405
2017	16.369.073	359.653	691	1.633
2018	16.054.759	430.985	1.044	1.541
2019	16.010.002	422.463	1.088	1.147
2020	17.358.140	384.262	908	1.236
2021	18.399.864	511.084	1.207	1.417
2022	19.814.531	588.823	953	1.525
2023	18.613.745	681.401	945	1.966

Şekil 1’de görüldüğü üzere en çok iş kazası 35.636 sayısı ile bina inşaatı sektöründe yaşanmıştır. Genel olarak iş kazaları çeşitli alanlardaki imalat sektörlerinde gerçekleşmiştir. Bununla birlikte yiyecek ve içecek hizmetleri, insan sağlığı hizmetleri, perakende ticaret, konaklama ve taşımacılık için depolama ve destekleyici faaliyetler alanlarında da oldukça önemli sayıda iş kazaları meydana gelmiştir.



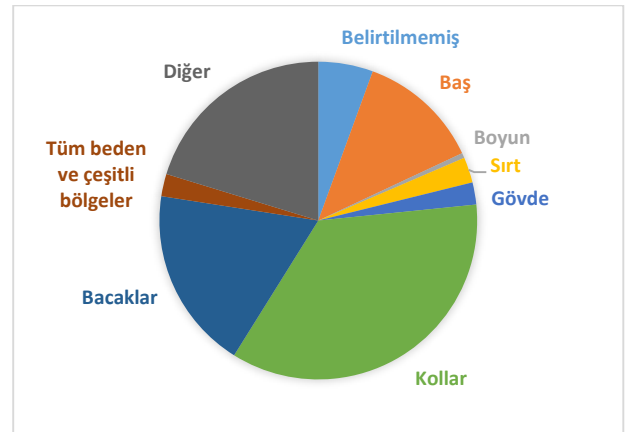
Şekil 1. 2022 Yılındaki 5510 Sayılı Kanunun 4-1/a Maddesi Kapsamındaki Sigortalıların Ekonomik Faaliyet Sınıflamasına (NACE Rev. 2) Göre En Çok İş Kazası Yaşanan 10 Sektör (SGK, 2022)

Şekil 2’de görüldüğü gibi ölümlü iş kazası ve meslek hastalığı en çok bina inşaatı alanında olmuştur. Şekil 2’deki istatistiklere bakacak olursak en çok iş kazasının olduğu bina inşaatı sektöründe ölümlerin de bu kadar fazla olması kaçınılmazdır. Bununla beraber şekilde görüldüğü üzere ölümlerin en çok olduğu alan genel olarak inşaat sektörüdür. İnşaat sektörünün ardından en çok ölüm kara taşımacılığı ve boru hattı taşımacılığında gerçekleşmiştir. Devamında ticaret ve madencilik sektörlerinde de önemli sayıda ölümler yaşanmıştır.



Şekil 2. 2022 Yılındaki 5510 Sayılı Kanunun 4-1/a Maddesi Kapsamındaki Sigortalıların Ekonomik Faaliyet Sınıflamasına (NACE Rev. 2) Göre İş Kazası ve Meslek Hastalığı Sebebiyle Ölüm Yaşanan 10 Sektör (SGK, 2022)

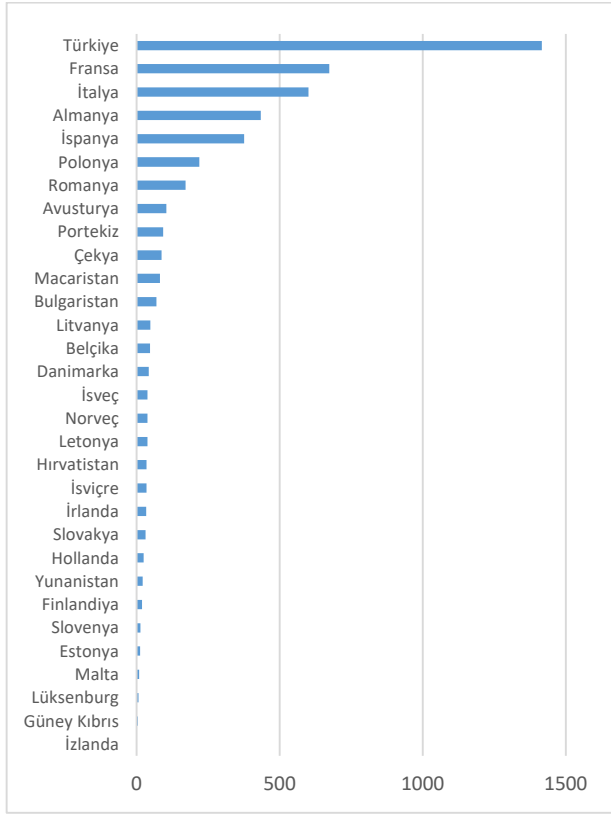
Şekil 3 incelendiğinde iş kazası sonucu yaralanmaların en çok uzuvlarda yani kol ve bacaklarda olduğu görülmektedir. Uzuvların ardından en çok yaralanma baş bölgesinde olmuştur. Baş yaralanmalarının ciddi beyin hasarlarına, felç durumuna ve daha ciddi ölüme neden olabileceği göz önünde bulundurulduğunda yüksek sayılardaki baş yaralanmaları oldukça endişe vericidir. Bunlarla beraber gövde, sırt, boyun ve beden çeşitli yerlerinin yaralanması olayları da önemli sayılara ulaşmıştır.



Şekil 3. 2022 Yılındaki 5510 Sayılı Kanunun 4-1/a Maddesi Kapsamındaki Sigortalıların Geçirdiği İş Kazalarındaki Yaralanmanın Vücuttaki Yeri (SGK, 2022)

Şekil 4’te görüldüğü üzere tüm Avrupa ülkeleri ile kıyaslandığında en çok iş kazası sonucu ölüm gerçekleşen ülke Türkiye’dir. Elbette nüfus sayısı düşük olan ülkelerde iş kazası sayısının da düşük olması beklenen bir durumdur ancak nüfusu ülkemize yakın sayılabilecek Almanya, Fransa, İspanya ve İtalya gibi ülkelerle kıyasladığımızda ülkemizde oldukça fazla sayıda iş kazası sonucu ölüm olduğunu söyleyebiliriz.

Avrupa'daki tüm ülkelerde iş kazası sonucu toplamda 3.347 ölüm gerçekleşmiştir. Sadece ülkemizde 1.417 ölüm gerçekleştiğini düşünürsek ülkemizdeki iş kazaları sonucu gerçekleşen ölüm sayısının ne kadar ciddi sayılara ulaştığı net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4. 2021 Yılında Avrupa ve Türkiye'de İş Kazası Sonucu Gerçekleşen Ölüm Sayıları (Eurostat, 2021; SGK, 2021)

3. Yöntem

Bu çalışmada, Türkiye'de makina sektöründe gerçekleşmiş iş kazalarının maliyetleri, direkt ve indirekt maliyetler olarak iki ana başlıkta hesaplanmaktadır. Direkt maliyetler, SGK'nın yıllık iş kazası ve meslek hastalıkları verileri kullanılarak ve 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu'nda belirtilen ödenekler ve bu ödeneklerin ödenme usullerine uygun olarak hesaplanmıştır. İndirekt maliyetler, İngiltere Sağlık ve Güvenlik Müdürlüğü'nün (The Health Service Executive-HSE) "Yıllık kaza maliyetlerinin hesaplanması" Metod 2 hesaplama yaklaşımı ile hesaplanmıştır (Can, 2023).

Bu çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

3.1. İş Kazalarının Maliyeti

Günümüze kadar ulusal ve uluslararası yapılan araştırmalarda iş kazalarının sebep olduğu maliyetlerin

direkt (dolaysız) maliyet ve indirekt (dolaylı) maliyet olmak üzere iki ana başlıkta toplandığı görülmektedir. Bazı çalışmalarda direkt maliyet ifadesi yerine görünür, bilinen, hesaplanabilen veya sigortalanmış maliyet ifadesi, indirekt maliyet ifadesi yerine ise bilinmeyen, görünmez, hesaplanamaz veya sigortalanmamış maliyet ifadesi kullanılmaktadır (Balcı, Taçkın, Balcı ve Yerden, 2013).

3.2. Direkt Maliyetler

İş kazası sonucu oluşan direkt maliyetlere örnekler aşağıdaki gibidir (Artuk, 2016):

- İlk yardım ve tedavi maliyetleri,
- Geçici veya sürekli iş göremezlik ödenekleri,
- Kaza sonucunda ölüm veya sakatlanma sebebiyle ödenen tazminatlar.

3.2.1. İlk yardım ve tedavi maliyetleri

(İlk Yardım ve Tedavi Maliyetleri = İş Kazası Sayısı × Kişi Başı Ortalama İlk Yardım ve Tedavi Maliyeti)

$$İYTM = İKS \times KBOİTM \quad (1)$$

3.2.2. Geçici iş göremezlik ödeneği

5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu Madde 18'e göre geçici iş göremezlik ödeneğinin ödenmesinde, kişi yatarak tedavi görmesi durumunda günlük kazancının yarısını, ayakta tedavi görmesi durumunda üçte ikisini almaktadır. Eşitliklerde bu durum da dikkate alınmıştır.

Yatarak tedavi için;

$$\text{Geçici İş Göremezlik Ödeneği} = \text{Tedavi Gören Kişi Sayısı} \times \text{İş Göremezlik Gün Sayısı} \times \text{Günlük Kazanç} \times (1 / 2)$$

$$GİGÖ = TGKS \times İGGS \times GK \times (1 / 2) \quad (2)$$

Ayakta tedavi için;

$$\text{Geçici İş Göremezlik Ödeneği} = \text{Tedavi Gören Kişi Sayısı} \times \text{İş Göremezlik Gün Sayısı} \times \text{Günlük Kazanç} \times (2 / 3)$$

$$GİGÖ = TGKS \times İGGS \times GK \times (2 / 3) \quad (3)$$

3.2.3. Sürekli iş göremezlik ödeneği

5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu Madde 19'a göre sürekli iş göremezlik ödeneğinde kişiye, günlük kazancının %70'i ödenir.

$$\text{Sürekli İş Göremezlik Ödeneği} = \text{Sürekli İş Göremez Kişi Sayısı} \times \text{Günlük Kazanç} \times 30 (\text{Gün}) \times \%70 \times 12 (\text{Ay})$$

$$SİGÖ = SİGKS \times GK \times 30 \times 0,7 \times 12 \quad (4)$$

3.2.4. Ölüm ödemeleri

5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu Madde 20'ye göre ölüm aylığında iş kazası

sonucu ölen kişinin hak sahiplerine kişinin günlük kazancının %70'i ödenir. Cenaze ödeneği ise Kanun'un 37. maddesine göre Kurum Yönetim Kurulunca belirlenip Bakan tarafından onaylanan tarife üzerinden hak sahiplerine ödenir.

Ölüm Aylığı = İş Kazası Nedeniyle Ölen Kişi Sayısı × Günlük Kazanç × 30 (Gün) × %70 × 12 (Ay)

$$\text{ÖA} = \text{İKNÖKS} \times \text{GK} \times 30 \times 0,7 \times 12 \quad (5)$$

Cenaze Ödeneği = İş Kazası Nedeniyle Ölen Kişi Sayısı × Kazanın Gerçekleştiği Yıl İçin Belirlenen Cenaze Ödeneği

$$\text{CÖ} = \text{İKNÖKS} \times \text{KGİBCÖ} \quad (6)$$

3.3. İndirekt Maliyetler

İş kazası sonucu oluşan indirekt maliyetlere aşağıdaki örnekler verilebilir (Balcı ve diğ., 2013):

- Kaza nedeniyle kesintiye uğrayan üretim sonucu oluşan maliyet,
- İş kazası geçiren işçiyle birlikte çalışan işçilerde kaza sonucu oluşan korku ve psikolojik durumların çalışma verimini düşürmesi,
- Kazazedenin yerine alınan işçinin eğitim masrafları,
- Kazazedenin yerine alınan işçinin işe alışma süreci boyunca devam eden verim kaybı,
- Malzeme, ekipman veya tesisin kaza sebebiyle hasar görmesi sonucu üretimin duraklaması ve bu süreçte oluşan maddi kayıp,
- Kaza sebebiyle üretim kalitesinde yaşanabilecek düşüşün getirdiği maddi kayıp,
- Kaza geçiren işçinin işe dönüşü sonrasında olabilecek verim düşüklüğü sebebiyle oluşacak maddi kayıp,
- Kaza geçiren işçi ile beraber çalışan işçilerin ve diğer bölümlerdeki işçilerin kaza nedeniyle çalışmadıkları iş süresi boyunca ödenen ücretlerin maliyeti,
- Meydana gelen iş kazası sonucu yapılan fazla mesailerin ücreti,
- Kazada hasar gören tesis, ekipman ve malzemenin onarımı ve bakımının maliyeti,
- Zamanında yetiştirilemeyen ürünün sebep olduğu maddi kayıplar.

İndirekt maliyetler İngiltere Sağlık ve Güvenlik Müdürlüğü'nün Metod 2 hesaplama yaklaşımı ile hesaplanmıştır.

Yıllık İndirekt Maliyetler = Bir Kuruluşta Çalışan Kişi Sayısı × Yılda Boyunca Olan Kazaların Kişi Başına Ortalama Maliyeti

$$\text{YİM} = \text{BKÇKS} \times \text{YBOKKBOM} \quad (7)$$

4. Bulgular

Makine sektöründeki iş kazası sayılarını belirleyebilmek için Ticaret Bakanlığı'nın 13/02/2019 tarihli ve 30685 sayılı Resmi Gazete ile yürürlüğe giren meslek kolları için oluşturulan listeden yararlanılmıştır. Metal, otomotiv ve makine sektörü başlığı altındaki meslekler ve yapılan işler makine sektörü olarak kabul edilmiş ve bu NACE kodlarındaki meslekler üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Kaza ve ölüm sayılarına SGK verilerinden ulaşılmış ve 2013-2023 yılları arası 11 yıllık dönem hesaba katılmıştır. Tablo 2'de hesaplamada kullanılacak makine sektörü içerisindeki ekonomik faaliyet sınıfları NACE kodları ile birlikte verilmiştir. Hesaplamalarda materyal ve yöntem bölümünde yer alan direkt ve indirekt maliyetler için verilmiş olan denklemlerden yararlanılmış ve her bir yıl için ayrı ayrı hesaplamalar yapılmıştır.

Tablo 2. Makine Sektörü İçerisindeki Ekonomik Faaliyet Sınıfları (NACE Rev. 2) (Ticaret Bakanlığı, 2019)

NACE Kodu	Ekonomik Faaliyet Sınıfı
24	Ana metal sanayii
25	Fabrikasyon metal ürünleri imalatı (makine ve teçhizat hariç)
27	Elektrikli teçhizat imalatı
28	Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı
29	Motorlu kara taşıtı, treyler (römork) ve yarı treyler (yarı römork) imalatı
30	Diğer ulaşım araçlarının imalatı
32	Diğer imalatlar
33	Makine ve ekipmanların kurulumu ve onarımı
35	Elektrikli gaz, buhar ve havalandırma sistemi üretim ve dağıtımı
43	Özel inşaat faaliyetleri

4.1. Direkt Maliyetlerin Hesabı

4.1.1. İlk Yardım ve Tedavi Maliyetleri

Can (2023), çalışmasında 314 iş kazasında kaza başına ortalama maliyetin 828,24 USD olduğunu, bu maliyetin 534,23 USD'nin direkt maliyet, 294,21 USD'nin ise indirekt maliyet olduğunu belirtmiştir. Çalışmada ilk yardım ve tedavi maliyetlerinin hesaplanmasında direkt maliyet olan 534,23 USD kullanılmıştır. Tablo 3'te verilen makine sektöründeki iş kazaları sayılarından yararlanılarak Denklem (1) ile hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplama Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası (TCMB) döviz verileri alınarak, hesabı yapılan yılın ilk gününün (1 Ocak) USD/TL kuru dikkate alınmıştır (TCMB, 2024).

Tablo 3. 2013-2023 Yılları Arasında Makine Sektöründeki İş Kazası Sayıları (SGK, 2023)

Yıl	Makine Sektöründe Yıl İçerisindeki Toplam İş Kazası Sayısı
2013	54.149
2014	63.438
2015	69.354
2016	79.682
2017	84.566
2018	96.182
2019	94.157
2020	92.470
2021	126.563
2022	139.141
2023	163.985

Bu hesaplamalar sonucu elde edilen ilk yardım ve tedavi maliyetleri Tablo 4'te verilmiştir. Maliyetlerin her yıl arttığı görülmektedir. Bunun sebeplerinden biri iş kazası sayılarının 2018-2020 yılları arası hariç düzenli olarak artmasıdır. Bir diğer sebep ise dolar kurunun her sene artmış olmasıdır. Bu sebepten iş kazası sayılarının kısmen azaldığı 2018-2020 döneminde bile maliyetler artmaya devam etmiştir.

Tablo 4. 2013-2023 Yılları Arasında Makine Sektöründeki İlk Yardım ve Tedavi Maliyetleri

Yıl	İlk Yardım ve Tedavi Maliyetleri (TL)
2013	51.202.595,88
2014	73.542.347,55
2015	86.699.310,56
2016	125.151.433,70
2017	159.477.260,50
2018	193.201.245,10
2019	268.106.963,60
2020	293.437.473,70
2021	497.637.211,00
2022	997.552.838,10
2023	1.638.226.712,48

4.1.2. Geçici İş Göremezlik Maliyetleri

Geçici iş göremezlik ödeneği, iş kazası geçirmiş sigortalı işçinin geçici şekilde iş göremez durumda olması sonucu SGK tarafından yetkilendirilen doktor veya sağlık kurumlarından istirahat raporu alınmış olması durumunda sigortalıya raporlu olduğu gün başına ödenir. Ödeneğin ödenmesinde kişinin yatarak veya ayakta tedavi olması durumu da göz önünde bulundurulur. Sigortalı yatarak tedavi durumunda günlük kazancının yarısını, ayakta tedavide ise günlük kazancının üçte ikisini ödenek olarak almaktadır. Hesaplamalarda Denklem (2) ve Denklem (3) kullanılmıştır. Günlük kazançta ise Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın (ÇSGB) verilerinden alınarak hesaplanmıştır. Tablo 5 ve Tablo 6'da tedavi süresine ve türüne göre makine sektöründeki geçici iş göremezlik sayıları verilmiştir (ÇSGB, 2024).

Tablo 5. Makine Sektöründeki Geçici İş Göremezlik Süreleri (yatarak) (SGK, 2023)

Yıl	Geçici İş Göremezlik Süresi (Gün) (Yatarak)				
	1	2	3	4	5+
2013	2	13	14	23	15.664
2014	0	15	11	40	19.391
2015	6	30	74	58	29.684
2016	1	6	19	35	30.236
2017	1	8	24	17	27.481
2018	1	7	8	4	18.625
2019	3	5	11	20	23.812
2020	3	8	17	20	20.327
2021	1	13	6	23	24.204
2022	1	16	8	38	27.320
2023	5	13	15	29	29.180

Tablo 6. Makine Sektöründeki Geçici İş Göremezlik Süreleri (ayakta) (SGK, 2023)

Yıl	Geçici İş Göremezlik Süresi (Gün) (Ayakta)				
	1	2	3	4	5+
2013	1.499	5.007	9.280	4.525	666.793
2014	1.940	5.989	11.053	4.484	591.432
2015	2.359	7.622	15.154	5.878	852.131
2016	2.379	8.094	16.310	6.353	962.365
2017	3.027	9.696	18.612	7.035	1.006.688
2018	1.604	4.879	9.589	3.096	618.918
2019	3.637	10.388	19.843	7.688	922.964
2020	3.336	10.377	22.261	7.868	914.069
2021	5.087	15.159	32.854	10.849	1.224.338
2022	5.877	16.732	36.946	14.042	1.251.709
2023	7.035	19.791	42.366	16.099	1.284.187

SGK'nın geçici iş göremezlik verilerine göre, geçici iş göremezlik durumlarının çok büyük bölümü ayaktan tedavidir. Tedavi türlerini yakından inceleyecek olursak ayakta tedavide de yatarak tedavide de geçici iş göremezlik durumlarının büyük oranda 5 gün ve üzeri tedavi gerektirdiği görülmektedir. Bu durum yaşanan iş kazalarının sağlık açısından ciddiyetini de göstermektedir. Aynı zamanda tedavi süresinin uzamış olması geçici iş göremezlik maliyetini de artırmaktadır. 2013-2023 yılları için hesaplanan geçici iş göremezlik maliyetleri Tablo 7'de verilmiştir. Geçici iş göremezlik sayılarının 2018 yılı haricinde düzenli olarak artması ve asgari ücretin de her yıl artması ile beraber maliyetler 2018 yılı haricinde sürekli bir artış göstermiştir. Yatarak tedavilerde geçici iş göremezlik maliyeti 2013 yılından 2023 yılına 19,03 kat artarken, ayaktan tedavilerde 20,08 kat artış yaşanmıştır. 2023 yılına ait toplam geçici iş göremezlik maliyeti 2013 yılına göre 20,06 kat artarak 1.505.339.976,00 TL'ye ulaşmıştır.

Tablo 7. Geçici İş Göremezlik Maliyetleri

Geçici İş Göremezlik Maliyetleri (TL)			
Yıl	Yatarak Tedavi	Ayakta Tedavi	Toplam
2013	1.280.041,42	73.752.036,77	75.032.078,19
2014	1.734.627,30	71.927.717,40	73.663.344,70
2015	2.982.463,42	116.071.094,40	119.053.557,82
2016	4.155.655,50	179.513.264,40	183.668.919,90
2017	4.075.274,25	203.023.482,50	207.098.756,75
2018	3.151.813,50	141.909.991,30	145.061.804,80
2019	5.082.091,04	268.888.635,90	273.970.726,94
2020	4.992.554,25	306.901.926,00	311.894.480,25
2021	7.223.986,12	500.774.713,50	507.998.699,62
2022	11.409.787,20	718.895.990,40	730.305.777,60
2023	24.368.145,60	1.480.971.830,40	1.505.339.976,00

4.1.3. Sürekli İş Göremezlik Maliyetleri

İş kazası veya meslek hastalığı sonucunda meydana gelen hastalık veya engellilik halinde SGK tarafından yetki verilen sağlık kurumlarının verdiği rapora istinaden meslekte kazanma gücü en az %10 oranında azalmış olan sigortalı, sürekli iş göremezlik gelirin hak kazanır. Sigortalıya günlük gelirinin %70'i ödenir. Sürekli iş göremezlik maliyetlerinin hesaplanmasında Denklem (4)'ten yararlanılmıştır. Günlük kazanç ÇSGB verilerinden alınarak hesaplanmanın yapıldığı yılın günlük asgari ücret tutarı kullanılmıştır. Tablo 8'da yıllara göre sürekli iş göremezlik geliri bağlananların sayısı verilmiştir. Çizelgede görülen sürekli iş göremezlik geliri bağlananların sayılarına bakacak olursak, bazı yıllarda önemli değişimler olsa da genel olarak 10 yıllık periyotta düzenli bir artış ya da azalıştan bahsetmek mümkün değildir (ÇSGB, 2024).

Tablo 8. 2013-2023 Yılları Arası Sürekli İş Göremezlik Geliri Bağlanan Kişi Sayısı (SGK, 2023)

Yıl	Sürekli İş Göremezlik Geliri Bağlanan Kişi Sayısı
2013	488
2014	438
2015	947
2016	1.083
2017	1.001
2018	859
2019	932
2020	656
2021	713
2022	893
2023	690

Tablo 8'de yer alan verilerin kullanılmasıyla hesaplanan sürekli iş göremezlik maliyetleri Tablo 9'da verilmiştir. Maliyetlerde bazı yıllar arasında azalmalar görülse de genel olarak 11 yıllık süreç içerisinde maliyetlerde bir artış söz konusudur. Sürekli iş göremezlik ödeneği bağlanan kişi sayılarının her yıl düzenli artış göstermemiş olmasına rağmen maliyetlerdeki düzenli artışa sebep olarak asgari ücretin artışı ve dolayısıyla yapılan ödemelerin de artması gösterilebilir.

Tablo 9. Sürekli İş Göremezlik Maliyetleri

Yıl	Sürekli İş Göremezlik Maliyeti (TL)
2013	4.011.477,12
2014	3.940.423,20
2015	9.557.692,20
2016	14.983.088,40
2017	14.945.931,00
2018	14.644.060,20
2019	20.029.201,92
2020	16.217.107,20
2021	21.426.363,00
2022	37.536.004,80
2023	58.006.368,00

4.1.4. Ölüm Ödemeleri Maliyetleri

İş kazası veya meslek hastalığı nedeniyle hayatını kaybeden sigortalının hak sahiplerine, sigortalının aylık kazancının % 70'i gelir olarak bağlanır. Cenaze ödeneği ise her yıl için belirlenen cenaze ödeneği tutarı hak sahiplerine ödenir. Ölüm aylığının hesaplanmasında Denklem (5)'ten, cenaze ödeneğinin hesaplanmasında ise Denklem (6)'dan yararlanılmıştır. Günlük kazanç ÇSGB verilerinden alınarak hesaplanmanın yapıldığı yılın günlük asgari ücret tutarı dikkate alınmıştır. Tablo 10'da makine sektöründeki ölüm sayıları verilmiştir. Hesaplama bu veriler kullanılmıştır (ÇSGB, 2024).

Tablo 10. Makine Sektöründeki Ölüm Sayıları (SGK, 2023)

Yıl	Ölüm
2013	241
2014	217
2015	241
2016	241
2017	230
2018	228
2019	163
2020	181
2021	220
2022	251
2023	350

Ölüm aylığı, cenaze maliyetleri ve bunların toplamı Tablo 11'de verilmiştir. Ölüm sayılarının yıllar arasında bazı düşüp yükselmeler harici benzer sayılarda ilerlemesine karşın 2014 ve 2019 yılları harici sürekli olarak artmıştır. Buna sebep olarak asgari ücretin ve cenaze ödeneklerinin her yıl artması gösterilebilir.

Tablo 11. Ölüm Ödemeleri Maliyeti

Ölüm Ödemeleri (TL)			
Yıl	Ölüm Aylığı	Cenaze Ödeneği	Toplam
2013	1.981.077,84	93.026,00	2.074.103,84
2014	1.952.218,80	90.055,00	2.042.273,80
2015	2.432.316,60	108.209,00	2.540.525,60
2016	3.334.186,80	117.849,00	3.452.035,80
2017	3.434.130,00	122.130,00	3.556.260,00
2018	3.886.898,40	135.660,00	4.022.558,40
2019	3.502.961,28	116.708,00	3.619.669,28
2020	4.474.537,20	144.981,00	4.619.518,20
2021	6.611.220,00	201.960,00	6.813.180,00
2022	10.550.433,60	313.750,00	10.864.183,60
2023	29.423.520,00	2.884.000,00	32.307.520,00

Tablo 12’de direkt maliyetlerin toplamı verilmiştir. Ölüm ödemeleri 2023 yılında 2013 yılına göre 15,57 kat, en yüksek maliyet olan ilk yardım ve tedavi maliyetleri 32 kat, geçici iş göremezlik maliyetinin 20,06 kat ve sürekli iş göremezlik maliyetinin 14,46 kat artması toplam maliyetlerin 11 yıl içerisinde 24,43 kat artmasına sebep olmuştur. Bu artışlardaki en büyük pay sahipleri iş kazalarının, asgari ücretin ve döviz kurlarının artışıdır.

Tablo 12. Direkt Maliyetler Toplamı

Yıl	Direkt Maliyetler Toplamı (TL)
2013	132.320.255,03
2014	153.188.389,25
2015	217.851.086,18
2016	327.255.477,80
2017	385.078.208,30
2018	356.929.568,50
2019	565.726.561,74
2020	626.168.579,40
2021	1.033.875.453,62
2022	1.776.258.804,10
2023	3.233.880.576,48

4.2. İndirekt Maliyetlerin Hesabı

İndirekt maliyetler iş kazası sonucunda, doğrudan hesaplanamayan fakat işvereni ve devleti dolaylı yoldan zarara uğratan sigortalanmamış maliyetlerdir. Bu maliyetlerin hesaplanması Denklem (7) kullanılarak yapılmıştır. İş kazası sayısı için Tablo 3’teki verilerden yararlanılmıştır. Ortalama kaza maliyeti olarak Can’ın (2023) çalışmasında bahsedilen Lawrence Bamber tarafından bulguların 335 GBP değeri kullanılmıştır. Hesaplama TCMB döviz verilerinden alınarak, hesabı yapılan yılın ilk gününün (1 Ocak) GBP/TL kuru dikkate alınmıştır (TCMB, 2024).

Hesaplanan indirekt maliyetler Tablo 13’te verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde iş kazası sayılarının ve GBP/TL kurunun her yıl artmasıyla beraber maliyetler her yıl ciddi miktarlarda artış göstermiştir. Özellikle 2020-2023 yılları arasına bakılırsa indirekt maliyetler neredeyse her yıl 2 katına çıkmıştır. Toplama bakacak

olursak 2013 yılından 2023 yılına indirekt maliyetler 23,66 kat artmıştır.

Tablo 13. İndirekt Maliyetler

Yıl	İndirekt Maliyetler (TL)
2013	52.242.955,20
2014	76.081.193,40
2015	84.105.595,80
2016	115.582.725,10
2017	122.950.507,40
2018	164.004.737,30
2019	213.227.942,20
2020	242.863.208,00
2021	426.105.980,30
2022	843.681.453,50
2023	1.236.586.287,25

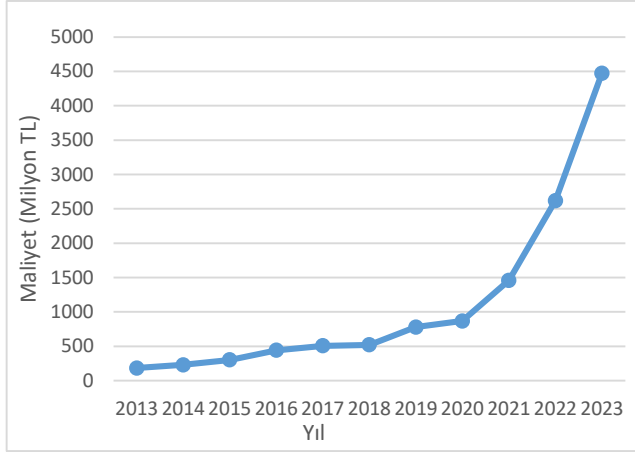
5. Tartışma

Tablo 14’te makine sektöründeki iş kazalarının toplam maliyetleri verilmiştir. 2013-2023 yılları arasında maliyet her sene düzenli olarak artış göstermiştir. 11 yıllık süreç içerisinde makine sektöründeki iş kazalarının maliyeti 24,22 kat artmıştır. Şekil 5’te bu süreç içerisinde maliyetlerde yaşanan artışın boyutu daha net bir şekilde görülmektedir. 2018 yılına kadar artış daha hafif seyrederken 2019 yılı ile beraber maliyetlerin artışı hızla yükselmiştir.

Türkiye’nin 2023 GSYH’si 1,118 trilyon dolar (26,545 trilyon TL) olduğu göz önüne alındığında makine sektöründeki iş kazalarının GSYH’deki payı %0,016’dır. Bu sayı az bir değer gibi görünse bile makine dışındaki diğer tüm iş sektörlerini de düşünüp bu hesaba kattığımızda maliyetin ne denli büyük olabileceğini görmek mümkündür.

Tablo 14. 2013-2023 Yılları Arası Makine Sektöründeki İş Kazası Maliyetleri

Makine Sektöründeki İş Kazası Maliyetleri (TL)			
Yıl	Direkt Maliyetler	İndirekt Maliyetler	Toplam
2013	132.320.255,03	52.242.955,20	184.563.210,23
2014	153.188.389,25	76.081.193,40	229.269.582,65
2015	217.851.086,18	84.105.595,80	301.956.681,98
2016	327.255.477,80	115.582.725,10	442.838.202,90
2017	385.078.208,30	122.950.507,40	508.028.715,70
2018	356.929.568,50	164.004.737,30	520.934.305,80
2019	565.726.561,74	213.227.942,20	778.954.503,94
2020	626.168.579,40	242.863.208,00	869.031.787,40
2021	1.033.875.453,62	426.105.980,30	1.459.981.433,92
2022	1.776.258.804,10	843.681.453,50	2.619.940.257,60
2023	3.233.880.576,48	1.236.586.287,25	4.470.466.863,73



Şekil 5. 2013-2022 Yılları Arası Makine Sektöründeki İş Kazası Maliyetleri

6. Sonuçlar

Ülkemizde 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu 30/06/2012 tarihinde yayımlanmış ve yürürlüğe girmiştir. Amacı birinci maddede, işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması ve var olan sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi olarak belirtilmiştir ancak gelinen noktada durumun iyileşmekten ziyade daha da kötüye gittiği görülmektedir. Makine sektöründe iş kazası sayıları Kanun yayımlandıktan sonraki sene olan 2013 yılında 54.149 iken 3,02 kat artış göstererek 2023'de 163.985'e ulaşmıştır. Buna Türkiye geneli bakarsak iş kazası sayısı 191.389'dan 3,56 kat artarak 681.401'e ulaşmıştır. Bunun en büyük sebeplerinden biri de ülkemizde iş güvenliği kültürünün oturmamasıdır. Bu durum en üst kademelerden en alt kademelere kadar her yerde görülmektedir. Devletin yeterli denetimlerde bulunmaması, işverenlerin maliyetten kaçınmak adına iş güvenliğini yok sayması, çalışanların bana bir şey olmaz düşüncesiyle işini yapması bu kültürsüzlüğün başlıca göstergelerindendir. Tüm bunların sonucunda cezayı yine devlet, işveren ve çalışan çekmektedir. Bu olumsuz tabloyu olumluya dönüştürmek mümkündür. Devletin iş sağlığı ve güvenliği konusunda işyerlerini sıkı şekilde denetlemesi, işverenlerin bu konuyu ciddiye alıp gerekli önlemleri alması, çalışanlarını eğitmesi ve çalışanların da kendilerine iş güvenliği hakkında verilen tüm talimatlara uyarak çalışması hem günümüzde hem de gelecek nesillerde iş güvenliği kültürünün oluşmasını ve iş kazalarının büyük ölçüde azalmasını sağlayacaktır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Mert Can ILGIN, literatür taraması, makalenin oluşturulması, bilgisayara ortamına aktarılması ve yorumlanması; Çisil TİMURALP, konunun belirlenmesi, makalenin oluşturulması ve yorumlanması konularında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Artuk, H. (2016). Başkent Üniversitesi Ankara Hastanesi Acil Servisine İş Kazası Nedeniyle Başvuran Hastaların Özelliklerini ve Maliyet Analizi (Uzmanlık Tezi). Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Balcı, B., Taçkın, E., Balcı, E. Ö. ve Yerden, A. (2013). İş Kazalarında Mali Kayıplar. *İstanbul Journal of Social Science*, 6, 67-83. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/istjss/issue/17492/183032>
- Biçer, E. (2007). Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Can, M. F. (2023). İnşaat Sektöründe İş Kazalarının Maliyet Analizi (Yüksek Lisans Tezi). Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Çakar, A. E. Akbaba, T., Yazıcı, M., Tekin, B. ve Çakar, Y. (2020). İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, MMO/718, 104-111, <https://www.mmo.org.tr/kitaplar/isci-sagligi-ve-guvenligi-oda-raporu-0>
- ÇSGB Yıllar İtibarıyla Günlük ve Aylık Asgari Ücret. (2024). Erişim adresi: <https://www.csgeb.gov.tr/media/93379/gunlukayli-kasgari.pdf>,
- Eurostat Accidents at Work Statistics. (2021). Erişim adresi: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Accidents_at_work_statistics#Number_of_accidents,
- ILO Safety and Health at Work. (2023). Erişim adresi: <https://www.ilo.org/topics/safety-and-health-work>
- Manuele, F. A. (2011). Accident Costs. *Professional Safety*, 56(1), 39-47. <https://www.jstor.org/stable/48687934>
- Mert, V. R. (2001). İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi. 3(1), 2-3. <https://www.csgeb.gov.tr/isggm/dergiler/03.pdf>
- Öztürk, T. (2019). İş Kazalarına Etki Eden Faktörlerin Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi (Doktora Tezi). İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

SGK İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İstatistikleri. (2021). Erişim adresi: <https://www.sgk.gov.tr/Download/DownloadFile?f=178d69cc-2c87-409d-a7df-06c82a7b4df2.zip&d=b449b3c3-1c9f-4c33-bc21-d317d29e97a4>,

SGK İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İstatistikleri. (2022). Erişim adresi: <https://www.sgk.gov.tr/Download/DownloadFile?f=a06611c3-e0e1-485d-99e5-ecce949fa0b9.zip&d=b449b3c3-1c9f-4c33-bc21-d317d29e97a4>,

SGK İş Kazası ve Meslek Hastalıkları İstatistikleri. (2023). Erişim adresi: <https://www.sgk.gov.tr/Download/DownloadFile?f=a06611c3-e0e1-485d-99e5-ecce949fa0b9.zip&d=b449b3c3-1c9f-4c33-bc21-d317d29e97a4>

Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu. (2006, 16 Haziran). Resmi Gazete (Sayı: 26200). Erişim adresi: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2006/06/20060616-1.htm>

TCMB Döviz Kurları. (2024). Erişim adresi: https://www.tcmb.gov.tr/bilgiyamackur/kurlar_tr.html

Ticaret Bakanlığı Sektör Meslek NACE Listeleri. (2019). Erişim adresi: <https://ticaret.gov.tr/esnaf-sanatkarlar/esnaf-ve-sanatkar-meslek-kollari/sector-meslek-nace-listeleri>

Yılmaz, G. (2009). İş Kazalarının Nedenleri ve Maliyetleri, Mühendis ve Makine, 27-32. https://www.mmo.org.tr/sites/default/files/8ee4c7d73782a48_ek.pdf

UYGUN SES YALITIM MALZEMESİNİN BELİRLENMESİNE YÖNELİK SİMÜLASYON TABANLI YAKLAŞIM

Rümeysa TÜRK¹, Kübra KELLEÇİ^{2*}, Sevil ÖZER³

¹ Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-1025-9799>

² Biyomühendislik Bölümü, Yıldız Teknik Üniversitesi İstanbul, Türkiye, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-9409-2254>

³ Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0002-0186-763X>

Anahtar Kelimeler	Öz
Gürültü Ses Yalıtımı Ses Yalıtım Modeli Nümerik Analiz Yalıtım Malzemeler	<i>Malzemeye ait ses geçiş kaybı değerinin bilinmesi, yalıtım malzemesinin yeterliliği hakkında bilgi vermektedir. Ses geçiş kaybının matematiksel hesaplama modellerine dayalı olarak belirlenmesi deneysel uygulamalara göre önemli ölçüde zaman ve maliyeti azaltmaktadır. Bu çalışmada ses yalıtımı için PYTHON programı kullanılarak ses geçiş kaybı değeri hesaplanmış ve deneysel olarak daha önce yapılan 7 farklı malzeme ile karşılaştırılmıştır. Böylece geliştirilen model ile hem tek bölmeli hem de çok bölmeli ortam için uygun ses yalıtım malzeme seçiminin yapılması amaçlanmıştır. Çalışmada malzemeye ait yoğunluk, kalınlık, poisson oranı, elastisite modülü, sesin havadaki hızı ve iç kayıp faktörü dikkate alınarak frekansa karşı ses geçiş kaybı değerleri tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlar ile kıyaslanarak modelin etkinliği ve doğruluk değerleri test edilmiştir.</i>

SIMULATION-BASED APPROACH TO DETERMINING SUITABLE SOUND INSULATION MATERIAL

Keywords	Abstract
Noisy Sound insulation Sound Insulation Model Numerical Analysis Insulation Materials	<i>Knowing the sound transmission loss value of the material provides information about the adequacy of the insulation material. Determination of sound transmission loss based on mathematical calculation models significantly reduces time and cost compared to experimental applications. In this study, the sound transmission loss value was calculated using the PYTHON program for sound insulation and was compared experimentally with 7 different materials previously made. Thus, with the developed model, it is aimed to select the appropriate sound insulation material for both single-compartment and multi-compartment environments. In the study, sound transmission loss values against frequency were determined by taking into account the material's density, thickness, Poisson Ratio, elasticity modulus, speed of sound in air and internal loss factor. The effectiveness and accuracy of the model were tested by comparing it with experimental results.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 09.02.2024

Kabul Tarihi

: 15.08.2024

Research Article

Submission Date

: 09.02.2024

Accepted Date

: 15.08.2024

* Sorumlu yazar: kubragkelleci@gmail.com

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1434413>

1. Giriş

Gürültü, kişiden kişiye ve farklı zamanlarda dahi farklı algılanabilen istenmeyen ve rahatsız edici bir ses türüdür. Sesin varlığı ölçülebilir ve nesnel bir kavram iken, gürültü öznel bir nitelik taşır ve bir sesin gürültü olarak algılanıp algılanmayacağı kişisel tercihlere bağlıdır. Uluslararası standartlara göre, işitme sistemi üzerinde zararlı etkileri olan gürültü seviyesi, 100 ila 10.000 Megahertz (Mhz) ve 85 desibel (dB) aralığında bulunur [Badaud vd.,2022]. Günümüzde erişkinlerde

karşılaşılan en önemli işitme kaybı nedenlerinden biri olmasının yanı sıra, en yaygın görülen meslek hastalığı olma özelliğini de göstermektedir. Gürültünün bireyde fizyolojik, psikolojik, fiziksel ve performans üzerine etkilerinin bulunmasının yanı sıra insanın vücut dengesini bozduğu da bilinmektedir.

Gürültünün insan sağlığına etkilerini en aza indirebilmek için uygun ses yalıtım malzemesi seçimi oldukça önemlidir. Sesin yüzeyle etkileşiminde yüzeye gelen ses enerjisinin (E_i), bir kısmı yansır (E_r), bir kısmı



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

yüzey tarafından tutulur (E_a) ve bir kısmı ise iletilir (E_t). Denklem 1 ve 2 kullanılarak ses yutma katsayısı hesap edilir [Karaağaçlıoğlu,2012] :

$$E_i = E_r + E_a + E_t \quad (1)$$

Ses yutma katsayısı (α) ise:

$$\alpha = (E_i - E_r) / E_i \quad (2)$$

$$\alpha = (E_a + E_t) / E_i \quad (3)$$

Denklem 3'de yansımının olmadığı şartlar için kabul edilen ses yutma katsayısını hesaplamaktadır [Karaağaçlıoğlu,2012]. α ile gösterilen ses yutma katsayısı 0 ile 1 arası frekans değerleri olarak malzemenin yalıtım kalitesini belirlemektedir. Ses yutma kaybının değerinin 0 olması yüzeyin tamamen yansıtıcı olduğu, 1 olması ise malzemenin en iyi kalitede gelen ses enerjisini yutan yüzeye sahip olduğunu belirtmektedir [Karaağaçlıoğlu,2012]. İnsan kulağının algıladığı oktavlar dikkate alındığında, α_{250} , α_{500} , α_{1000} , α_{2000} için gürültü azaltma katsayısı (NRC)'si en yüksek olan malzeme en iyi yalıtım malzemesi olarak kabul edilmektedir [Atef vd.,2022]. Denklem 4'de NRC teriminin formüle edilmiş hali gösterilmektedir.

$$NRC = (\alpha_{250} + \alpha_{500} + \alpha_{1000} + \alpha_{2000}) / 4 \quad (4)$$

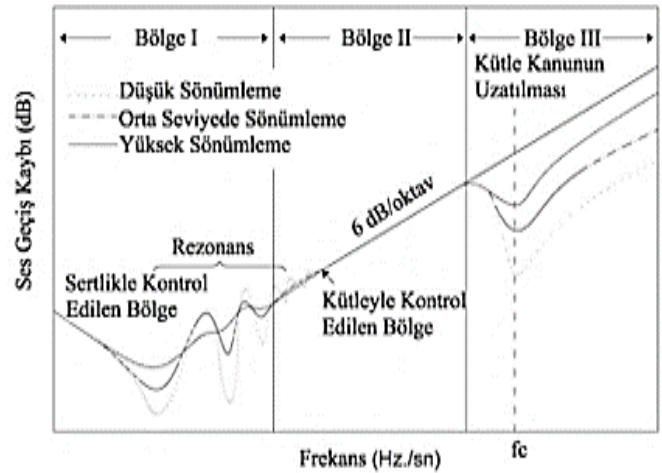
Sesin yalıtılabilmesi, malzemenin yoğunluğu ile doğru orantılıdır [Eroğlu vd.,2004]. Ayrıca malzemeye ait ses geçiş kaybı (TL) değerlerinin bilinmesi de seçilecek yalıtım malzemesinin yeterliliği hakkında bilgi verecektir. Malzemenin TL değerinin yüksek olması, yalıtım için yüksek uygunluk sağladığını ifade etmektedir. Ses yalıtımında iletilen dalganın büyüklüğünün hesaplanmasında τ ve TL değerlerinden yararlanılmaktadır. Ses geçiş katsayısı olarak bilinen τ değeri bölmeye iletilen sesin, bölmeye gelen sesin şiddetine oranı ile bulunmaktadır. Bir yalıtım malzemesinde TL değerinin hesaplanması τ değerine bağlı olarak denklem 5 ve denklem 6'deki gibi hesaplanmaktadır:

$$TL = 10 \log (1/\tau) \text{ dB} \quad (5)$$

$$TL = 10 \log \left(\frac{\text{Bölmeye gelen sesin şiddeti}}{\text{Bölmeden iletilen sesin şiddeti}} \right) \quad (6)$$

TL değeri, ses geçişine ek olarak frekansa da bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Bu değer, 0 ile 1 arasında değişen bir ölçüdür. τ değeri, malzemenin sesi ne kadar geçirdiğini belirtir; 0, sesin hiçbir şekilde geçmediğini, 1 ise tamamen geçtiğini ifade eder. Genel olarak, τ

değerinin 0.4 olması, iletilen ses enerjisinin %40'ının geçtiğini gösterir [Demirkale, 1999]. TL değerinin belirlenmesinde frekans ve malzeme özellikleri etkili faktörlerdir. Şekil 1'de ses dalgasının ortamdaki davranışına bağlı olarak TL değerlerindeki değişimler gösterilmektedir. Şekil 1 incelendiğinde, düşük frekanslarda malzemenin sertliği etkili olduğu görülmektedir. "Frekans yükseldiğinde ve rezonans bölgesine girildiğinde, malzemenin sönümlenmesi TL değerini etkiler. Orta frekans aralığında ise TL değeri malzemenin kütleline bağlı olarak değişir [Laman ve Keskin, 2004].



Şekil 1. Ses dalgasının ortamdaki hareketine bağlı olarak malzeme özelliğinin belirlenmesi [Demirkale, 2008]

Literatürdeki çalışmalar genellikle malzemenin TL değerlerinin hesaplanmasını konu almaktadır. TL değerinin teorik tespiti için yapılan ilk çalışmada (Dym and Lang,1974), araştırmacılar sandviç panellerde TL değerlerini hesaplamıştır. Ford ve ekibi (1967) sandviç panellerin simetrik olma ve olmama durumuna göre farklı eşitlikler türetilerek literatürdeki deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırmış ve hesaplamaların kabul edilebilir olduğunu ispatlamışlardır. Tek katmanlı ve çok katmanlı panellerde kullanılan polimerik malzemelerin TL değerini tespit etmek için analitik bir yöntem kullanan Homsı (2003), düşük frekanslarda yöntemin başarılı olduğunu belirtmiştir. Benzer başka bir çalışmada tek ve çok katmanlı panellerde cam, çelik ve beton bazlı malzemelerin TL değerleri teorik ve deneysel olarak belirlenerek karşılaştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre teorik modelin etkili olduğu belirtilmiştir (Tadeu vd.,2003). 2016 yapılan bir çalışmada 11 farklı malzeme için ses azaltım indisi teorik olarak belirlenmiş ve literatürde yer alan deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Aksoylu vd.,2016). Literatürde yer alan deneysel çalışmalar standartlarda belirtilen laboratuvar koşulları göz önünde bulundurularak 1/3 oktav band frekansları (125-4000Hz) dikkate alınarak yapılmıştır (Demirkale,2008).

Bilgisayar ortamında gerçekleştirilen uygulama yöntemleri ile deneysel çalışmaları destekleyen ve etkili sonuçlar ortaya koyan simülasyon çalışmaları literatürde yer almaktadır [Atef vd.,2022]. Simülasyon çalışmaları ile farklı yalıtım malzemelerinin belirli değer ve modeller ile kıyaslanması ve uygun malzemenin seçimi mümkündür.

Bu çalışmada, insan sağlığını tehdit eden dış ve iç etkenlerin oluşturduğu gürültüler, farklı ortamlarda oluşan gürültü oranları ve insan sağlığını olumsuz etkileyen ses aralıkları belirlenerek ihtiyaç duyulan ses yalıtım malzemelerinin ortama uygunluk oranları tespit edilmiştir. PYTHON programı ile gerçekleştirilen tasarımda, TL değerleri hesaplanarak uygun malzeme seçimi yapılmasına olanak sağlanmıştır. Kullanılan modelin doğruluk yüzdesi, her model için malzemelere ait doğruluk değerlerinin ortalaması alınarak belirlenmiştir.

2. Yöntem

Bu çalışmada akustik modeller kullanılarak PYTHON programı ile ses yalıtım malzemesini uygun şartlar altında tercih edilebileceği bir program tasarımı yapılmıştır. Bu program tasarımı sonucunda uygun veriler elde edilerek grafik ve tablolarla oluşturulmuştur. Ortama veya cihaza uygun yalıtım malzemesinin seçimini yaparken AKUZOFT yazılım modelinden yararlanılmıştır. Bu model sayesinde uygun ortam için yalıtım malzemeleri grafiksel ve tablo olarak karşılaştırılmıştır.

2.1. Akuzoft Modeli

Ses yalıtım modeli olan Akuzoft (Marco,2010), akustik denklemlerin çözümlenmesi için Matlab'de geliştirilmiş grafiksel bir hesaplama modelidir. Bu model ile yalıtım malzemelerinin TL değerleri hesaplanabilmektedir. Akuzoft modeli malzemelerin TL değerinin hesaplanmasında bazı verileri dikkate almaktadır. Bu veriler; Kalınlık (h), Yoğunluk (ρ), Yüzey Kütlesi (m"), Kritik frekans (f_c), Boyuna Dalga Hızı (CL), İç kayıp faktörü (η int), Elastisite Modülü (E) ve Havanın yoğunluğu (ρ_0)'dur.

Tek Bölmeli Ortamda Ses İletimi: Ses dalgaları belirli frekanslarda yayılma gösterdiğinden her frekans değeri önem arz etmektedir. TL hesabı yapılırken dikkate alınması gereken frekans aralığı 125-4,000 Hz (1/3 oktav band) olmalıdır. TL hesabında diğer önemli parametreler ise sesin havadaki hızı (c) ile hesaplanan kritik frekans değeridir. Denklem 7' de kritik frekans değerinin hesaplanma şekli ifade edilmektedir:

$$f_c = \frac{c^2}{2 * \pi} \sqrt{\frac{\rho_s}{B}} \quad (7)$$

Burada:

ρ_s : Malzemenin yüzey yoğunluğu
B: Malzemenin eğilme sertliği
c: Sesin havadaki hızıdır.

Homojen bir plaka için eğilme sertliği, Denklem 8'deki gibi ifade edilmektedir:

$$B = \frac{E * h^3}{12 * (1 - \nu^2)} \quad (8)$$

Burada:

E: Malzemenin elastisite modülü
h: Malzemenin kalınlığı
v: Malzemenin poisson oranıdır.

Ses dalgalarının iletimine bağlı olarak kurulan sistemlerde fiziksel parametrelerin tanımlanması TL değerinin belirlenmesinde önemlidir. Enerji iletimi söz konusu olduğundan ses enerjisinin yalıtım malzemesine çarpma anında incelenmesi gerekmektedir [Laman ve Keskin, 2004]. Deklem 9'da tek bölmede ses iletimi için, ses frekansının, kritik frekanstan büyük ya da küçük olma durumuna göre TL değeri hesaplanabilmektedir.

$$TL = 20 * \log(m * f) - 48 \quad f < f_c$$

$$TL = 20 * \log(m * f) + 10 * \log\left(\frac{2 * \eta * f}{\pi * f_c}\right) - 44 \quad f > f_c \quad (9)$$

Burada:

m: Yüzey kütlesi
f: Frekans
 η : Kayıp faktörü
 f_c : Kritik frekanstır.

Tek Bölmeli Olmayan Ortamda Ses İletimi: Akuzoft modeli, TL hesabında Denklem 10'daki genel TL hesaplama formülünü kullanmaktadır. Yapılan deneysel hesaplamalar sonucunda belirli korelasyon katsayıları ve integralin sınır değerleri ses yankısının olmaması durumu için 0 ile 78 derece sınır değerleri olarak kabul edilmiştir [Beranek,1956].

$$\tau = 2.0904 \left\{ \left[1 + \eta * \left(\frac{w * \rho_s * \cos(a)}{2 * \rho_0 * c} \right) * \left(\frac{w^2 * B * \sin^4(a)}{c^4 * \rho_4} \right) \right]^2 + \left[\left(\frac{w * \rho_s * \cos(a)}{2 * \rho_0 * c} \right) * \left(1 - \frac{w^2 * B * \sin^4(a)}{c^4 * \rho_s} \right) \right]^2 \right\}^{-1} * \cos(a) * \sin(a)$$

$$TL = 10 * \log \frac{1}{\tau} \quad (10)$$

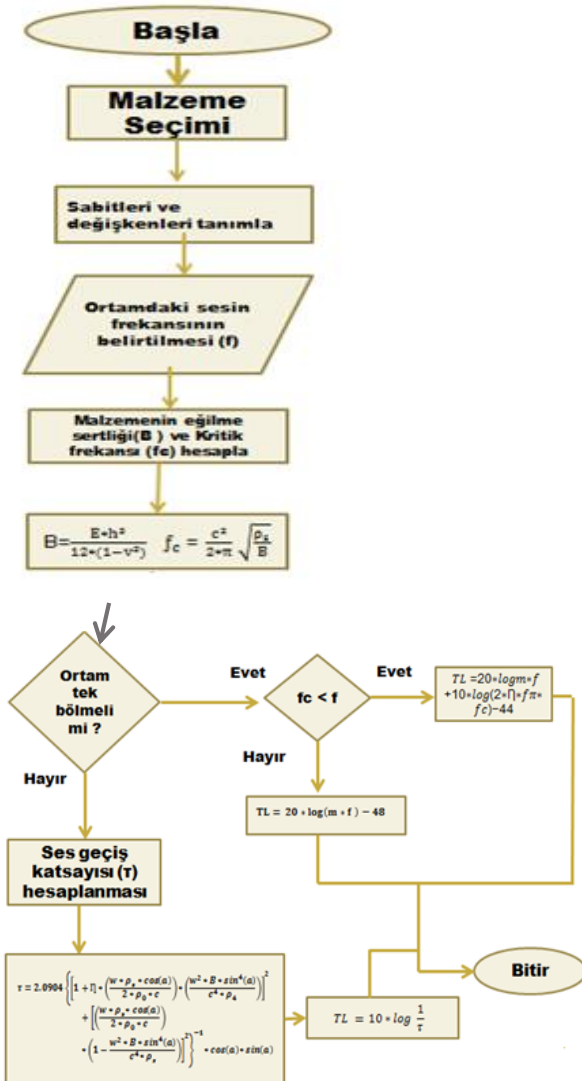
Burada:

TL: Ses geçiş kaybı
 τ : Ses geçiş katsayısı
 ω : Açısal frekans ($2\pi f$)

ρ_s : Malzemenin yüzey yoğunluğu
 B : Malzemenin eğilme sertliği
 η : İç kayıp faktörü
 c : Sesin havadaki hızı
 α : Sesin engele geliş açısı
 ρ_0 : Havanın yoğunluğu

2.2 Algoritma

PYTHON kullanılarak gerçekleştirilen hesaplama programı sayesinde yalıtım malzemeleri ortam şartlarına bağlı olarak daha kısa zamanda ve az maliyette belirlenecektir. PYTHON programı akış diyagramı Şekil 2'de gösterilmiştir. Ana ekran üzerinde 7 malzeme için sabit olan değerler program kodlarına eklenmiştir. Ekran üzerinde belirtilen boşluklara malzemenin değişken özellikleri ve ortamdaki frekans değerleri girilerek işlemler yapılmaktadır. Malzemenin elastite modülü, possion oranı, iç kayıp faktörü ve yüzey yoğunluğu ana ekran üzerinde malzeme tercihine bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 2. Python programı akış diyagramı

3. Bulgular ve Tartışma

Her bir frekansa karşılık gelen TL değerleri deneysel olarak belirlenmiş malzemelerin, program çıktıları karşılaştırılmıştır. Deneysel çalışma sonucunda frekansa karşılık gelen TL değerleri 7 farklı malzeme için ortam şartlarına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Tablo 1'de 7 farklı ses yalıtım malzemesine ait özellikler verilmiştir. [Aksoylu vd.,2016; Kaya,2016; Aydın ve Ekmekçi,2002].

Tablo 1. Ses yalıtım malzemelerinin yapısal özellikleri

Malzemeler	Elastite Modülü N/m ²	İç Kayıp Faktörü	Possion Oranı	Yoğunluk kg/m ³
Melamin Köpüğü	2089.07	0.048	0.55	11
Ahşap Yünü	11186.59	0.039	0.43	30
Kauçuk Köpüğü	2985.54	0.056	0.35	20
Polietilen Levha	1035000	0.029	0.25	0.94
Taş Yünü	78700.98	0.041	0.29	90
Cam Yünü	45000.72	0.035	0.65	14
Poliüretan Levha	17000000	0.026	0.68	40

Bu bilgiler dâhilinde programda yapılan deneysel hesaplamalar aşağıda belirtilmektedir;

1.Durum: İlk olarak 10 cm kalınlığında ve 0.1 kg ağırlığında Melamin köpüğüne ait deneysel bilgiler dikkate alınarak frekansa bağlı olarak TL değeri karşılaştırılması yapılmaktadır.

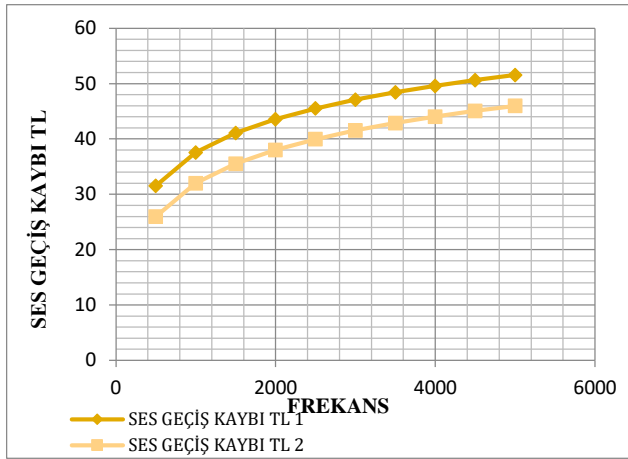
Kullanılan 10 cm kalınlığında ve 0.1 kg ağırlığında Melamin köpüğü için dikkate alınan parametreler şunlardır: Kalınlık: 0.10 m, Yoğunluk: 11 kg/m³, Possion Oranı: 0.55, Elastisite modülü: 2089.07 N/m², İç kayıp faktörü: 0.048, Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Tablo 2'de ve Şekil 3'te sırasıyla belirli frekanslara karşılık gelen TL değerlerinin grafiği ve çizelgesi gösterilmektedir. Tablo 2'de 10 cm kalınlığında ve 0,1 kg ağırlığında Melamin köpüğünün frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri karşılaştırılmaktadır.

Program hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanan verilerde Ses Geçiş Kaybı TL1 değeri ortamın tek bölmeli olmadığını ve Ses Geçiş Kaybı TL 2 değeri ortamın tek bölmeli olduğunu belirtmektedir. Ortamdaki frekans değerinin artmasına bağlı olarak ortam tipine göre TL değerleri artış göstermektedir. Bir malzemenin TL değerinin yüksek olması, o malzemenin iyi yalıtım sağladığını göstermektedir. Şekil 3'de kullanılan bu malzemenin tek bölmeli olmayan ortamlarda daha iyi sonuçlar verilerek ses yalıtımı daha etkili olduğu görülmektedir.

Tablo 2. 10 cm kalınlığında ve 0.1 kg ağırlığında Melamin köpüğünün frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri

MALZEMELER	ORTAM FREKANSI (Hz)	KRİTİK FREKANS DEĞERİ	TL 2		TL 1
			Fc>F	Fc<F	
Melamin Köpüğü	500	139511.218	25.979	-	31.544
Melamin Köpüğü	1000	139511.218	32.000	-	37.562
Melamin Köpüğü	1500	139511.218	35.521	-	41.089
Melamin Köpüğü	2000	139511.218	38.020	-	43.582
Melamin Köpüğü	2500	139511.218	39.958	-	45.520
Melamin Köpüğü	3000	139511.218	41.542	-	47.104
Melamin Köpüğü	3500	139511.218	42.881	-	48.442
Melamin Köpüğü	4000	139511.218	44.041	-	49.602
Melamin Köpüğü	4500	139511.218	45.064	-	50.625
Melamin Köpüğü	5000	139511.218	45.977	-	51.540



Şekil 3. 10 cm kalınlığında ve 0.1 kg ağırlığında Melamin köpüğünün frekansa karşılık ses geçiş kaybı değerleri

bilgiler dikkate alınarak malzemenin kalınlığına bağlı olarak TL değeri karşılaştırılması yapılmaktadır.

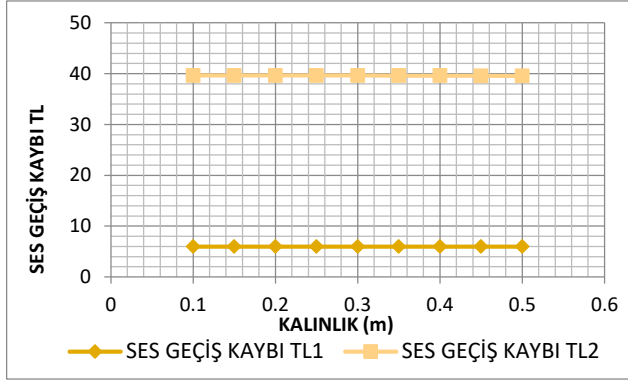
Kullanılan 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yünü için dikkate alınan parametreler şunlardır: Ağırlık: 0.50 kg, Yoğunluk: 14 kg/m³, Poisson Oranı: 0.65, Elastisite modülü: 45000.72 N/m², İç kayıp faktörü: 0.035, Sesin havadaki hızı: 340 m/s.

Tablo 3'de ve Şekil 4'de sırasıyla belirli kalınlıklara göre TL değerlerinin grafiği ve tablosu gösterilmektedir. Tablo 3'de 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yünü için kalınlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri karşılaştırılmaktadır. Program hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanan verilerde Ses Geçiş Kaybı TL1 değeri ortamın tek bölmeli olmadığını ve Ses Geçiş Kaybı TL2 değeri ortamın tek bölmeli olduğunu belirtmektedir.

2.Durum: Kullanılan verilerle 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yününe ait deneysel

Tablo 3. 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yünü için kalınlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri

MALZEMELER	MALZEME KALINLIĞI	KRİTİK FREKANS DEĞERİ	TL 2		TL 1
			Fc>F	Fc<F	
Cam Yünü	0.100	27014.620	5.979	-	39.656
Cam Yünü	0.150	14704.896	5.979	-	39.654
Cam Yünü	0.200	9551.110	5.979	-	39.651
Cam Yünü	0.250	6834.218	5.979	-	39.645
Cam Yünü	0.300	5198.966	5.979	-	39.636
Cam Yünü	0.350	4125.692	5.979	-	39.625
Cam Yünü	0.400	3376.827	-	5.979	39.609
Cam Yünü	0.450	2829.958	-	5.979	39.589
Cam Yünü	0.500	2416.261	-	5.979	39.563



Şekil 4. 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yünü için kalınlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri

Malzeme kalınlığının artmasına bağlı olarak ortam tipine göre TL değerleri artış göstermektedir. Şekil 4'de kullanılan bu malzemenin tek bölmeli ortamlarda değerinin sabit kalarak iyi sonuç vermediği ve tek bölmeli olmayan ortamlarda daha iyi sonuçlar verdiği fakat kalınlık artışına bağlı olarak TL değerlerinde az oranlarda azalma gözlemlenmektedir.

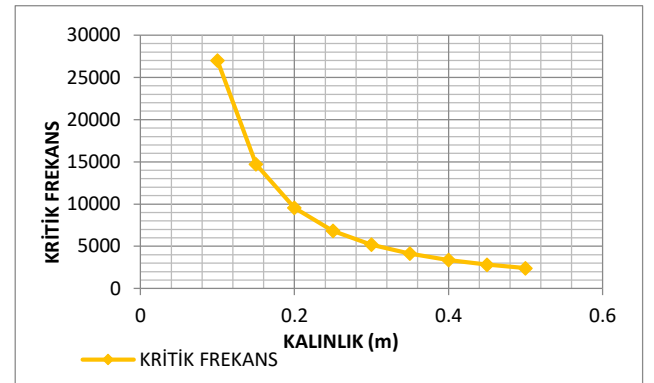
Malzemenin kalınlığına ve ortam şartlarına bağlı olarak en çok etkilenen değer kritik frekans değeridir. Kritik frekans değeri ortam şartlarına bağlı olarak malzemenin etki gösterebileceği ses yalıtım değeridir [Davy, 2009]. Şekil 5'te kritik frekansın kalınlığa bağlı olarak değişimi belirtilmektedir.

3.Durum: Kullanılan verilerle 4000 Hz frekans değerinde ve 0.3 m kalınlığında Cam yününe ait deneysel bilgiler dikkate alınarak malzemenin kalınlığına bağlı olarak TL değeri karşılaştırılması yapılmaktadır.

Kullanılan 4000 Hz frekans değerinde ve 0.3 m kalınlığında Polietilen Levha için dikkate alınan parametreler şunlardır: Kalınlık: 0.30 m, Yoğunluk: 0.94 kg/m³, Possion Oranı: 0.25, Elastisite modülü: 1035000 N/m², İç kayıp faktörü: 0.029, Sesin havadaki hızı: 340 m/s

Tablo 4'de ve Şekil 6'da sırasıyla belirli kalınlıklara göre TL değerlerinin grafiği ve tablosu gösterilmektedir. Tablo 4'de 4000 Hz frekans değerinde ve 0.3 m kalınlığında Polietilen Levhanın ağırlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri karşılaştırılmaktadır.

Program hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanana verilerde Ses Geçiş Kaybı TL1 değeri ortamın tek bölmeli olmadığını ve Ses Geçiş Kaybı TL2 değeri ortamın tek bölmeli olduğunu belirtmektedir. Malzeme ağırlığının artmasına bağlı olarak ortam tipine göre TL değerleri artış göstermektedir.



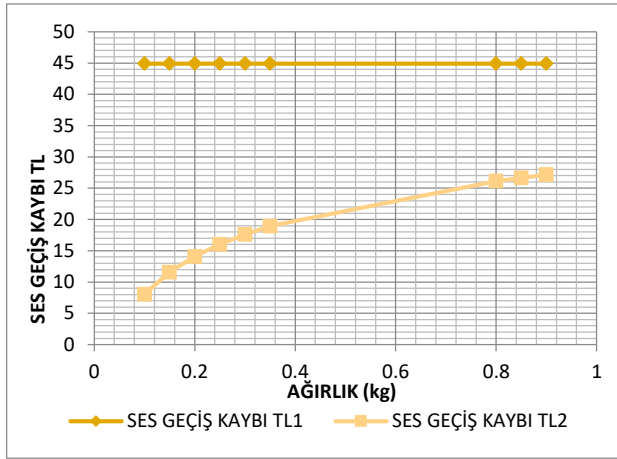
Şekil 5. 4000 Hz frekans değerinde ve 0.5 kg ağırlığında Cam yünü için kalınlığa bağlı olarak kritik frekans değeri

Şekil 6'da kullanılan bu malzemenin tek bölmeli ortamlarda değerinin devamlı olarak arttığı ve tek bölmeli olmayan ortamlarda iyi sonuçlar verdiği fakat ağırlığının artışına bağlı olarak TL değerlerinin sabit kaldığı gözlemlenmektedir.

Son olarak belirli kalınlık ve ağırlıkta belirlenen daha önce belirtilen 7 malzemenin özellikleri dikkate alınarak hem tek bölmeli olan ortamda hem de tek bölmeli olmayan ortamlarda TL değeri hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Tablo 4. 4000 Hz frekans değerinde ve 0.3 m kalınlığında Polietilen Levhanın ağırlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri

MALZEMELER	MALZEME AĞIRLIĞI	KRİTİK FREKANS DEĞERİ	TL 2		TL 1
			Fc>F	Fc<F	
Polietilen Levha	0.100	357.903	-	8.062	44.903
Polietilen Levha	0.150	357.903	-	11.584	44.903
Polietilen Levha	0.200	357.903	-	14.082	44.903
Polietilen Levha	0.250	357.903	-	16.021	44.903
Polietilen Levha	0.300	357.903	-	17.604	44.903
Polietilen Levha	0.350	357.903	-	18.943	44.903
Polietilen Levha	0.800	357.903	-	26.124	44.903
Polietilen Levha	0.850	357.903	-	26.650	44.903
Polietilen Levha	0.900	357.903	-	27.147	44.903



Şekil 6. 4000 Hz frekans değerinde ve 0.3 m kalınlığında Polietilen Levhanın ağırlığa bağlı olarak ses geçiş kaybı değerleri

4.Durum: Kullanılan malzemeler 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında Melamin köpüğü, Ahşap yünü, Kauçuk köpüğü, Polietilen levha, Taş yünü, Cam Yünü ve Poliüretan levhaya ait deneysel bilgiler dikkate alınarak frekansa bağlı olarak TL değeri karşılaştırılması yapılmaktadır.

Tablo 5’de ve Şekil 7’de sırasıyla frekansa bağlı olarak tek bölmeli ortamlarda TL değerlerinin grafiği ve tablosu gösterilmektedir. Tablo 5’te 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri karşılaştırılmaktadır.

Program hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanana tek bölmeli ortamdaki TL değerleri belirtilmektedir. Ortam frekansının artmasına bağlı olarak ortam tipine göre TL değerleri artış göstermektedir. Şekil 7’de kullanılan bu 7 malzemenin tek bölmeli ortamlarda değerlerinin kritik frekans değerlerine de bağlı olarak değişimleri gösterilmektedir.

Tablo 5. 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak tek bölmeli ortamlarda belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri

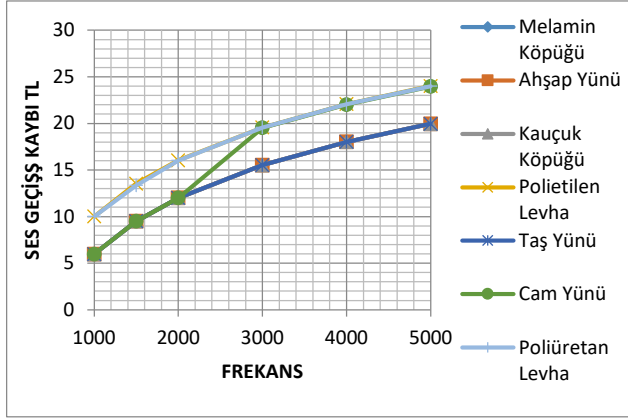
FREKANS	Melamin Köpüğü	Ahşap Yünü	Kauçuk Köpüğü	Polietilen Levha	Taş Yünü	Cam Yünü	Poliüretan Levha
1000	5.979	5.979	5.979	10.014	5.979	5.979	10.006
1500	9.501	9.501	9.501	13.539	9.501	9.501	13.350
2000	12.000	12.000	12.000	16.040	12.000	12.000	16.031
3000	15.521	15.521	15.521	19.565	15.521	19.524	19.556
4000	18.020	18.020	18.020	22.067	18.020	22.023	22.056
5000	19.958	19.958	19.958	24.007	19.958	23.962	23.994

Bu değişimlerde Melamin köpüğü, Ahşap yünü, Kauçuk köpüğünün ortam frekansına bağlı olarak TL değerlerinin aynı oranda artış gösterdiği gözlemlenmektedir. Bunun sebebi malzemelerinin özelliklerine bağlı olarak hesaplanan kritik frekansın ortam frekansından büyük olduğu için programda yapılan hesabın yalnızca ortam frekansına ve malzemenin ağırlığına bağlı olmasıdır. Bu sebeple tüm malzemelerde ortam frekansı ve malzeme ağırlığı sabit olduğu için aynı oranda artış göstermektedir.

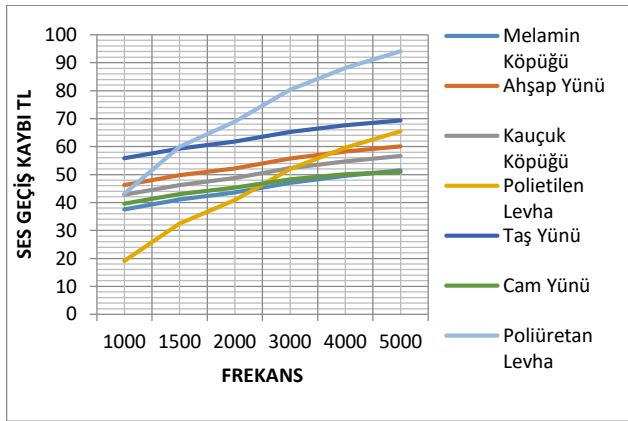
Taş yünü ve Cam Yünü karşılaştırıldığında belirli bir değerden sonra TL değerlerinin farklı oranlarda artış gösterdiği belirtilmektedir. Bunun sebebi ise kritik frekansın ortam frekansından az olarak hesaplanmasıdır. Programda yapılan hesaplama ile farklı denklemlere yönlendirilerek veriler elde edilmiştir. 7 malzeme karşılaştırıldığında 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında Poliüretan levhanın en iyi sonucu elde ettiği Şekil 7’de gösterilmektedir.

Tablo 6’da ve Şekil 8’de sırasıyla frekansa bağlı olarak tek bölmeli olmayan ortamlarda TL değerlerinin grafiği ve tablosu gösterilmektedir. Tablo 6’da 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri karşılaştırılmaktadır.

Program hesaplamaları dikkate alınarak hesaplanan tek bölmeli olmayan ortamdaki TL değerleri belirtilmektedir. Ortam frekansının artmasına bağlı olarak ortam tipine göre TL değerleri artış göstermektedir. Şekil 8’de kullanılan bu 7 malzemenin tek bölmeli olmayan ortamlarda değerlerinin kritik frekans değerlerine de bağlı olarak değişimleri gösterilmektedir. 7 malzeme karşılaştırıldığında 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında Poliüretan levhanın en iyi sonucu elde ettiği Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 7. 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak tek bölmeli ortamlarda belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri



Şekil 8. 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak tek bölmeli olmayan ortamlarda belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri

4. Sonuçlar

Yalıtım malzemelerine ait TL değerlerinin hesaplanması, gürültüye karşı alınacak önlemlerde

uygun malzemenin seçilmesi konusunda önemli bir değerdir. Kullanılan malzemenin ses yalıtımı açısından etkisi ve uygun şartları sağlaması, TL değeri malzemeye ait yalıtım özelliklerini belirlemektedir. Bir malzemenin TL değerinin yüksek olması, o malzemenin ses yalıtımı açısından başarılı olduğunu ifade etmektedir. TL değeri hesaplanmasında kullanılan analitik hesaplama yöntemleri ve deneysel çalışmalar yöntemleri, hesaplamaların uzun sürmesi ile mali açıdan zorluklar ortaya koymaktadır. Mühendislikte kullanılan simülasyon uygulamaları ile gerçekleştirilen program tasarımları, mevcut yöntemlerin zorlukları ortadan kaldırmayı hedeflemektedir.

Yapılan bu çalışmada, Akuzoft modeli kullanılarak 7 farklı yapı malzemesinin yalıtım başarısı belirlenmiştir. Malzemelerin TL değerleri hesaplanırken malzemenin bulunduğu ortam ve ortam frekansı ile birlikte malzemeye ait birtakım parametreler de göz önünde bulundurulmuştur. Programdan elde edilen veriler doğrultusunda malzemenin özelliklerine bağlı olarak kritik frekans değeri hesaplanmıştır. Kritik frekans değeri malzemenin ortama bağlı olarak performans gösterebileceği bir sınır değeridir. Kritik frekans değeri göz önünde bulundurularak ortam tek bölmeli ise TL değeri hesabı yapılmıştır. Ortam tek bölmeli değil ise malzemenin belirli özellikleri kullanılarak ve ortamın özelliklerine göre τ değeri ve TL değeri hesaplanarak yalıtım malzemesi seçimi gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada elde edilen sonuçlara göre, bir malzemenin TL değeri ne kadar büyükse malzemenin ses yalıtımı o kadar etkilidir. Malzemeye ait TL değerinin hesaplanmasında kullanılan her bir parametrenin, TL değerini etkilediği görülmüştür. Bu durum ileriki araştırmalarda seçilecek malzeme ve ortam özelliklerinin önemli olduğunu göstermektedir. Çalışmada elde edilen sonuçların bir sonraki araştırmalara yardımcı olması hedeflenmektedir. İleriki araştırmalarda malzeme sayısının artırılması ve farklı modeller kullanılarak deneysel sonuçlara göre doğruluğun belirlenmesi önerilmektedir.

Tablo 6. 0.5 m kalınlığında ve 0.5 kg ağırlığında frekansa bağlı olarak tek bölmeli olmayan ortamlarda belirlenen 7 malzemenin ses geçiş kaybı değerleri

FREKANS	Melamin Köpüğü	Ahşap Yünü	Kauçuk Köpüğü	Polietilen Levha	Taş Yünü	Cam Yünü	Poliüretan Levha
1000	37.559	46.268	42.752	19.093	55.802	39.563	43.133
1500	41.076	49.781	46.270	32.498	59.304	42.966	59.983
2000	43.568	52.226	48.763	40.819	61.775	45.297	68.920
3000	47.072	55.749	52.271	51.931	65.216	48.319	80.386
4000	49.547	58.194	54.750	59.611	67.601	50.066	88.177
5000	51.453	60.062	56.66	65.510	69.390	50.931	94.124

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Rümeyya TÜRK ve Sevil ÖZER çalışmanın tasarımı ve uygulanmasında; Rümeyya TÜRK ve Kübra KELLEÇİ, bilimsel yayın araştırmasında ve makalenin oluşturulmasında; Kübra Kelleci ve Sevil ÖZER, makalenin sonuçlarının yorumlanmasında katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Aksoylu, C., Mendi Ş.E., and Söylev A. (2016). Ses yalıtımında ses azaltım indisi modellerinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi. *Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31:4, 961-970.
- Atef, M., Bassioni, G., Azab, N., & Abdellatif, M. H. (2022). On the acoustical performance of eco-friendly cementitious composite with recycled fine rubber particles. *Construction and Building Materials*, 325, 126830.
- Aydın, H. and Ekmekçi İ. (2002). Isı Yalıtım Malzemesi Olarak Poliüretan Köpüğün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, Üretimi Ve İncelenmesi. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 6.1: 45-50.
- Badaud, S., and Topçu, K.D. Audiovisual perception of a historical route in Konya city (Türkiye). *Journal of Human Sciences* 19.3 (2022): 417-440.
- Beraneck, L. L. (1956). Criteria for office quieting based on questionnaire rating studies." *The Journal of the Acoustical Society of America* 28.5: 833-852.
- Davy, John L. (2009). Predicting the sound insulation of single leaf walls: Extension of Cremer's model. *The Journal of the Acoustical Society of America* 126.4: 1871-1877.
- Demirkale, S. Y., (2008). Yapı Elemanlarında Sesin Yayılması. "Çeşitli Duvarların Ses Geçiş Kaybı Değerlerinin Karşılaştırılması." Rapor, İTÜ Mimarlık Fakültesi.
- Demirkale, S.Y., (1999). Yapı Elemanlarında Ses Yalıtımının Değerlendirilmesi, Yapıda Yalıtım Konferansı Bildiriler Kitabı, TMMOB Makine Mühendisliği, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 41-53.
- Dym, C. L., and Lang, M.A. (1974). Transmission of sound through sandwich panels. *The Journal of the Acoustical Society of America* 56.5: 1523-1532.
- Eroğlu, H., and M. Usta. (2004). *Kâğıt ve Karton Üretim Teknolojisi Ders Kitabı*. Trabzon, Türkiye: KTÜ Basımevi.
- Ford, R. D., P. Lord, and A. W. Walker. (1967) "Sound transmission through sandwich constructions." *Journal of sound and vibration* 5.1: 9-21.
- Homsı, E. N., (2003). Acoustical characterization and parameter optimization of polymeric noise control materials. *New Jersey Institute of Technology*.
- Kaya, A.İ. (2016). Kompozit malzemeler ve özellikleri." *Putech & Composite Poliüretan ve Kompozit Sanayi Dergisi* 29: 38-45.
- Karaağaçlıoğlu, İ. E., (2012). Bor ve Mineral katkılı selülozik yalıtım malzemesi üretimi ve karakterizasyonu (Doktora Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Laman, M., ve Keskin, M. S., (2004). Kumlu Zeminlere Oturan Kare Temeller Altında Düşey Gerilme Analizi", *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, 431.
- Marco A.A.B., Diseño E., (2010). Implementación De Una Aplicación Computacional Para El Modelado De Soluciones Acústicas, Master's Thesis, Universidad Austral De Chile Facultad De Ciencias De La Ingeniería Escuela De Ingeniería Civil Acústica Valdivia, Chile.
- Tadeu, A., Julieta A., and Diogo M. (2004). Sound insulation provided by single and double panel walls—a comparison of analytical solutions versus experimental results." *Applied Acoustics* 65.1: 15-29.

TUNGSTOFOSFORİK ASİTLE MODİFİYE H-BETA ZEOLİT KATALİZÖRLER VARLIĞINDA DİFENİLMETAN SENTEZİ

Sema AKYALÇIN^{1*}, Levent AKYALÇIN², Fatma Hande KESKİN³, Çağan SATIR⁴

- ¹ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-8269-2968>
- ² Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No: <https://orcid.org/0000-0001-6779-1597>
- ³ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No: <https://orcid.org/0009-0003-0813-6850>
- ⁴ Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, ORCID No: <https://orcid.org/0009-0003-8678-3885>

Anahtar Kelimeler	Özet
Benzilasyon Benzil alkol Difenilmetan Heteropoli asit H-Beta	<i>Bu çalışmada, H-Beta (HB) zeolit destekli tungstofosforik asit (TPA) üzerinde benzenin benzil alkol ile reaksiyonundan difenilmetan (DPM) sentezi araştırılmıştır. Destek zeoliti üzerinde ağırlıkça %5 ila %20 arasında değişen TPA yüklemeleri ıslak emdirme yöntemi kullanılarak elde edilmiş ve desteklenen katalizörler kalsinasyon işlemine tabi tutulmuştur. Hazırlanan katalizörler ICP-OES, XRD, azot adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi, amonyak sıcaklık programlı desorpsiyonu (NH₃-TPD) ve FT-IR ile karakterize edilmiştir. Sonuçlar, %98,9 benzil alkol dönüşümü ve %87,3 difenilmetan seçiciliği ile %5TPA-HB'nin hazırlanan diğer katalizörlerden daha yüksek bir katalitik performansa sahip olduğunu göstermiştir. Çalışma, %5TPA-HB'nin uygun gözenek büyüklüğü ve yüksek erişilebilir güçlü asit bölgelerinin iyi bir kombinasyonu sayesinde DPM sentezinde potansiyel uygulamalara sahip olduğunu göstermiştir.</i>

SYNTHESIS OF DIPHENYLMETHANE OVER TUNGSTOPHOSPHORIC ACID MODIFIED H-BETA ZEOLITE CATALYSTS

Keywords	Abstract
Benzilation Benzyl alcohol Diphenylmethane Heteropoly acid H-Beta	<i>In this study, the synthesis of diphenylmethane (DPM) from the reaction of benzene with benzyl alcohol over tungstophosphoric acid (TPA) supported on H-Beta (HB) zeolite was investigated. TPA loadings on the support zeolite ranging from 5 to 20% w/w were achieved using the wet impregnation method, and the supported catalysts were subjected to calcination treatment. The prepared catalysts were characterized by ICP-OES, XRD, nitrogen adsorption-desorption isotherms, temperature-programmed desorption of ammonia (NH₃-TPD), and FT-IR. The results showed that 5%TPA-HB had a higher catalytic performance than the other prepared catalysts, with 98.9 % benzyl alcohol conversion and 87.3 % diphenylmethane selectivity. The study suggested that 5%TPA-HB has potential applications in the synthesis of DPM owing to a good combination of suitable pore size and large accessible strong acid sites.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

: 03.04.2024

Kabul Tarihi

: 19.09.2024

Research Article

Submission Date

: 03.04.2024

Accepted Date

: 19.09.2024

* Sorumlu yazar: sdogruel@eskisehir.edu.tr

<https://doi.org/10.31796/ogummf.1464296>

1. Giriş

Difenilmetan (DPM) tarım kimyasalları, boya, koku ve polimer endüstrilerinde kullanılan önemli bir kimyasaldır. Ayrıca DPM, jet yakıtlarının stabilitesini ve kayganlığını artırmak için bir katkı maddesi olarak da kullanılmaktadır (Candu, Florea, Coman ve Parvulescu,

2011; Yin ve diğ., 2006). DPM, benzenin benzil klorür veya benzil alkol ile reaksiyona girmesiyle sentezlenebilir. Reaktant olarak benzil klorür yerine benzil alkol kullanılması, DPM sentezi sırasında hidroklorür üretimini ortadan kaldırmaktadır (Candu, Wuttke, Kemnitz, Coman ve Parvulescu, 2012). Benzenin benzil alkol ile sıvı faz benzilasyonu genellikle



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

$FeCl_3$, $AlCl_3$ ve H_2SO_4 ile homojen katalizörler varlığında gerçekleştirilmektedir (Leng ve diğ., 2012; Satam ve Jayaram, 2008). Homojen katalizörlerin korozyon, yeniden kullanılmama, atık yönetimi ve katalizörün reaksiyon karışımından ayrılmasındaki zorluklar gibi dezavantajları vardır (Leng ve diğ., 2012; Satam ve Jayaram, 2008). Bu sorunların üstesinden gelmek için çevre dostu bir süreç düşünmek önemlidir. Bu nedenle, zeolitler (ZSM-5, Y, Beta, Mordeite, MCM-22) ve hiyerarşik zeolitler benzilasyon reaksiyonunda katı asit katalizörleri olarak kullanılmıştır (Candu ve diğ., 2011; Chaube, 2004; Jin, Ansari, Jeong ve Park, 2012; Karabulut ve Akyalcin, 2021; Sun ve Prins, 2008; Wang ve diğ., 2015).

Benzilasyon reaksiyonu elektrofilik bir ara madde aracılığıyla ilerlemektedir. Benzilasyon ajanı, Brønsted asit bölgeleri tarafından polarize edilerek benzen halkası ile etkileşen ve bir DPM oluşturan bir elektrofile dönüştürülmektedir (Candu ve diğ., 2011; Singh, Bhattacharya ve Sharma, 1995). Heteropoli asitler (HPA'lar) güçlü Brønsted asitliğine ve düşük yüzey alanlarına sahiptirler ve polar ortamda yüksek oranda çözünürler. HPA'lar arasında tungstosilik asit (TPA) diğerlerine göre daha yüksek termal kararlılığa ve asitliğe sahiptir (Kozhevnikov, 2007). HPA'lar yüzey alanlarını artırmak ve reaktantların aktif bölgelere erişebilirliğini iyileştirmek için polianilin, zirkonya, silika ve zeolitler gibi çeşitli destek maddeleri üzerinde depolanırlar; böylece, HPA'nın desteklenmiş formu farklı reaksiyonlarda etkili bir katalizör olarak kullanılabilir (Baroi ve Dalai, 2014; Devassy ve Halligudi, 2005; Kuai, Wang, Meng, Shi ve Liu, 2022; Satam ve Jayaram, 2008; Wang ve Liu, 2021). Wu ve diğ. (1996) göre, desteğin asidik özellikleri (basit oksitler ve zeolitler için) ile güçlü bir şekilde immobilize edilmiş HPA miktarı arasında bir korelasyon vardır (Wu ve diğ., 1996). Desteklenmiş HPA'lar Friedel-Crafts alkilasyon ve asilasyon reaksiyonları için umut verici katı asit katalizörleridir (Bai ve diğ., 2012; Bhatt ve Patel, 2011; Kamalakar, Komura, Kubota ve Sugi, 2006; Kuai ve diğ., 2022; Li ve diğ., 2014). Kamalakar ve diğ. (2006) FSM-16, MCM-41 ve SBA-15 gibi mezogözenekli silikalara molibdofosforik asit, tungstosilik asit ve tungstosilik asit gibi HPA'ların emdirilmesiyle aromatiklerin benzil alkol ile benzilasyonu için desteklenmiş katalizör hazırlamışlardır. TPA'nın mezogözenekli silika üzerine immobilizasyonunun katalitik aktiviteyi arttırdığını ve MCM-41 üzerinde desteklenen ağırlıkça %50 TPA'nın benzilasyon reaksiyonu için en iyi katalitik aktiviteyi gösterdiğini bildirmişlerdir (Kamalakar ve diğ., 2006). Li ve diğ. (2014) heteropoli anyon bazlı iyonik sıvı ile işlevselleştirilmiş bir mezogözenekli kopolimer (P(VB-VMS) PW) katalizör hazırlamışlar ve HPA- anyonlarının varlığı nedeniyle uygun mezoporoziteye ve gelişmiş asitliğe sahip olan katalizörün, arenlerin benzil alkol ile benzilasyon reaksiyonunda benzilasyon ürünleri için üstün verim ve seçicilik sergilediğini bildirmişlerdir (Li

ve diğ., 2014). Akyalcin ve diğ. (2019) de DPM sentezinde katalizörlerin gözenek boyutunun ve asitliğinin önemini vurgulamışlardır (Akyalcin, Akyalcin ve Bjørgen, 2019). Chaube (2004) benzenin benzil klorür ile reaksiyonunda H-Beta'nın (Si/Al=13) H-Y'den (Si/Al=2.05) daha seçici fakat daha az aktif olduğunu bildirmiştir (Chaube, 2004). Candu ve diğ. (2011) benzenin benzil alkol ile reaksiyonunda farklı Si/Al oranlarına sahip H-Mordenit ve H-Beta zeolitlerinin katalitik performansını araştırmışlardır. Si/Al oranları 10,8 ve 35,8 olan H-Beta zeolitlerinin katalitik performansları karşılaştırıldığında, deneysel metodolojiden bağımsız olarak H-Beta'nın (Si/Al=10,8) H-Beta'dan (Si/Al=35,8) daha etkili olduğunu bildirmişlerdir (Candu ve diğ., 2011). Wang ve diğ. (2015) hiyerarşik Beta zeolitleri hazırlamak için ticari bir Beta'yı (Si/Al=12,5) sırasıyla baz ve asit çözeltileri ile muamele etmişler ve Zeolit Beta'daki toplam asit bölgelerinin sayısının desilikasyondan sonra önemli ölçüde azaldığını ve sonraki asit işlemiyle arttığını belirtmişlerdir. Ayrıca Brønsted asit bölgelerinin sayısı ile katalizörün katalitik aktivitesi arasında iyi bir korelasyon olduğunu bildirmişlerdir (Wang ve diğ., 2015). Zeng ve diğ. (2019), benzil alkolün çeşitli arenlerle benzilasyonunda katalizörlerin şekil seçiciliği (moleküler elek) ve Brønsted asitliğinin etkisini araştırmak için farklı Si/Al oranlarına sahip mikro gözenekli ve mezogözenekli H-Beta zeolitleri hazırlamışlardır. H-Beta zeolitlerin seçilen benzilasyon reaksiyonlarındaki katalitik performansının, asitlikle dengelenmiş uygun bir gözenekliliğe bağlı olduğunu bildirmişlerdir (Zeng ve diğ., 2019).

Bu çalışmada, güçlü bir Brønsted asitliğine sahip olan tungstosilik asit (TPA), üç boyutlu bir kanal sistemi içeren H-Beta zeoliti üzerinde depolanmıştır. H-Beta zeoliti, 0,56 x 0,56 nm'lik oluklu kanal halkası açıklıklarına bağlı 0,66 x 0,67 nm'lik iki paralel düz kanal açıklığı olan tetragonal bir yapıya sahiptir (Kurnia ve diğ., 2017). TPA yüklü H-Beta zeolit katalizörlerinin katalitik aktivitesi, DPM sentezlemek için benzenin benzil klorürden daha az reaktif olan benzil alkol ile reaksiyonunda değerlendirilmiştir.

2. Yöntem

2.1. Katalizörlerin Hazırlanması

NH_4 -Beta ($SiO_2/Al_2O_3=25$) Alfa Aesar'dan TPA ($H_3PW_{12}O_{40}.xH_2O$, Emplura) ise Merck firmasından satın alınmıştır. NH_4 -Beta, 550 °C'de 5 saat boyunca kalsine edilmiş ve H-Beta (HB) formu elde edilmiştir (Wang ve diğ., 2015). Farklı TPA yüklemelerine (ağırlıkça %5-20) sahip katalizörler ıslak emdirme yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır (Sakthivel, Komura, ve Sugi, 2008). Zeolit desteği istenen miktarda TPA içeren 15 mL metanol çözeltisine eklenmiş, oda sıcaklığında 16 saat karıştırılmış ve 90 °C'de 45 dakika kurutulmuştur. Kurutulan malzemeler 250 °C'de 6 saat boyunca kalsine edilmiştir (Baroi ve Dalai, 2014). Elde edilen katalizörler

%xTPA-HB olarak etiketlenmiştir; burada %x, TPA yüklemesinin ağırlık yüzdesini göstermektedir.

2.2. Katalizörlerin Karakterizasyonu

Zeolit numunelerindeki TPA içeriği, ICP-OES spektrometresi (Optima 4300DV-Perkin Elmer) kullanılarak belirlenmiştir.

Katalizör örneklerinin XRD desenleri, 2°/dak tarama hızında CuK α radyasyonlu Rigaku MiniFlex 600 difraktometre kullanılarak elde edilmiştir.

Katalizörlerin N₂ adsorpsiyon-desorpsiyon izotermeleri, örnekler vakum altında 250 °C'de 5 saat boyunca degas edildikten sonra Quantachrome Autosorb IQ-MP-XR cihazı kullanılarak sıvı azot sıcaklığında (77 K'de) elde edilmiştir.

Katalizörlerin asitliği, Quantachrome Autosorb IQ-Chemi-XR cihazında amonyağın sıcaklık programlı desorpsiyon (NH₃-TPD) analizi ile değerlendirilmiştir. Katalizör numunesi önce helyum gazı akışında 550°C'de 2 saat aktive edilmiş ve aynı akış altında 100°C'ye soğutulmuştur. Ardından, numune 100°C'de 15 dakika boyunca saf amonyak akışıyla doyurulmuş ve helyum gazı akışında 120 dakika boyunca fiziksel olarak adsorplanan amonyağın uzaklaştırılması sağlanmıştır. Son olarak, NH₃-TPD, 30 mL/dak helyum akışında 10°C/dk ısıtma hızında sıcaklık 600°C'ye yükseltilerek gerçekleştirilmiştir.

Numunelerin FTIR spektrumları oda sıcaklığında Thermo Scientific Nicolet IS-10 spektrometre kullanılarak geçirgenlik modunda KBr peletleri ile 4 cm⁻¹ çözünürlükte kaydedilmiştir.

2.3. Katalizörlerin Aktivite Testleri

Benzilasyon reaksiyonu önceki çalışmalarımızda özellikleri verilen kesikli reaktör sisteminde gerçekleştirilmiştir (Akyalcin ve diğ., 2019; Karabulut ve Akyalcin, 2021). Deney, reaktöre 40 mL (448 mmol) benzen (B) eklenmesiyle başlamıştır. Manyetik karıştırma (1400 rpm) altında benzenin sıcaklığı 80°C'ye ulaştığında, reaktöre 200 mg taze katalizör ve 7,95 mmol benzil alkol (BA) eklenmiş ve ardından reaksiyon karışımının başlangıç bileşimini belirlemek için ilk numune alınmıştır. Reaktörden çeşitli zaman aralıklarında alınan numuneler buz banyosundaki santrifüj tüplerine aktarılmış, katalizörü uzaklaştırmak için santrifüjlenmiş ve gaz kromatografisi cihazı ile analiz edilmiştir. GC analizi için alev iyonizasyon dedektörlü (FID) ve HP-5 kapiler kolonlu (30 m uzunluk x 0,32 mm ID x 0,25 µm film kalınlığı) Agilent HP 7890 GC kullanılmıştır. GC sıcaklık programı 2 dakika boyunca 50 °C'de başlamış, 20 °C/dak hızla 250 °C'ye yükseltilmiş ve ardından 6 dakika boyunca 250 °C'de tutulmuştur. Dedektör ve enjektör sıcaklıkları 250°C'de tutulmuştur. BA dönüşümünün, DPM, dibenzil eter (DBE) ve polialkillenmiş ürünlerin (PAB) ürün

verimlerinin ve DPM seçiciliğinin hesaplanması için kullanılan denklemler Eşitlik (1)-(5) verilmiştir:

$$BA \text{ dönüşümü (\%)} = \left(\frac{\text{tüketilen BA mol sayısı}}{\text{başlangıçtaki BA mol sayısı}} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$DPM \text{ verimi (\%)} = \left(\frac{\text{oluşan DPM mol sayısı}}{\text{başlangıçtaki BA mol sayısı}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$DBE \text{ verimi (\%)} = \left(\frac{2 \times \text{oluşan DBE mol sayısı}}{\text{başlangıçtaki BA mol sayısı}} \right) \times 100 \quad (3)$$

$$PAB \text{ verimi (\%)} = BA \text{ dönüşümü (\%)} - (DPM \text{ verimi (\%)} + DBE \text{ verimi (\%)}) \quad (4)$$

$$DPM \text{ seçiciliği} = \left(\frac{\text{oluşan DPM mol sayısı}}{\text{tüketilen BA mol sayısı}} \right) \quad (5)$$

Devir frekansı (TOF) Eşitlik (6)'ya göre hesaplanmıştır:

$$TOF = \frac{\text{oluşan DPM mmol sayısı}}{\text{Katalizördeki H}_3\text{PW}_{12}\text{O}_{40} \text{ mmol sayısı} \times \text{reaksiyon süresi}} \quad (6)$$

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Katalizör Karakterizasyonu

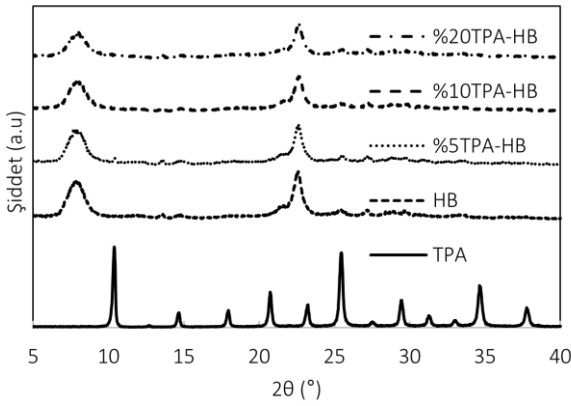
Hazırlanan katalizörlerin ICP-OES analizi, destekli katalizörlerdeki elde edilen TPA yüklemelerini belirlemek için yapılmıştır. Tablo 1'deki sonuçlar, numunelerin tungsten içeriğinin TPA yüklemesi ile arttığını ve katalizörlerin elde edilen TPA yüklemelerinin hedeflenen TPA miktarlarına oldukça yakın olduğunu göstermektedir.

Tablo 1. ICP-OES ile Elde Edilen Destekli Katalizörlerin Element Bileşimi

Katalizör	W (wt. %)	Si (wt. %)	Al (wt. %)	Elde edilen TPA yüklemesi ^a (wt. %)
%5TPA-HB	3,6	32	3,1	4,7
%10TPA-HB	5,5	31	2,9	7,2
%20TPA-HB	12,6	27	2,5	16,4

^a W içeriğine göre hesaplanmıştır.

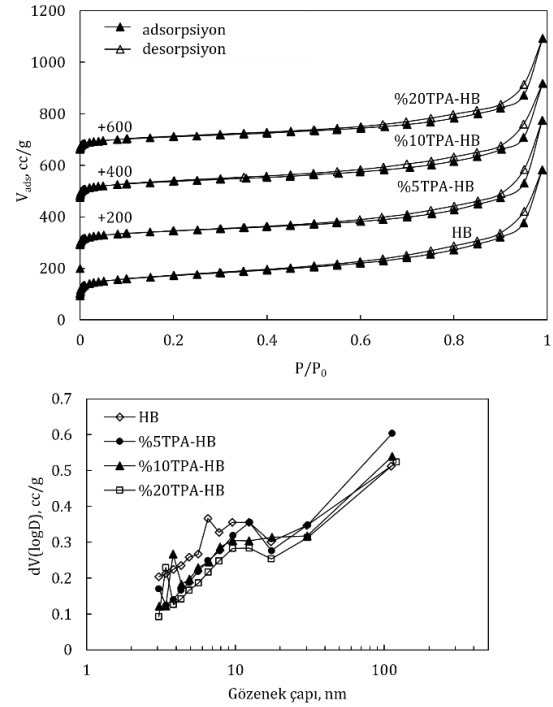
TPA, HB ve TPA emdirilmiş HB'nin XRD desenleri Şekil 1'de gösterilmektedir. TPA'ya karşılık gelen pikler 10,4°, 25,4° ve 34,7°'lik 2θ değerlerinde tespit edilmiştir. H-Beta'nın 7,9° ve 22,6°'deki iki karakteristik piki (Freitas, Araújo, Paiva, Dias ve Dias, 2018) destekli katalizörlerde mevcuttur.



Şekil 1. Yığın ve Destekli Katalizörlerin (%xTPA-HB) XRD Desenleri

Şekil 1, TPA modifikasyonundan sonra H-Beta zeolitin kristal yapısının korunduğunu, ancak TPA yüklemesi arttıkça pik yoğunluklarının azaldığını göstermektedir. Ayrıca, %5TPA-HB hariç, %xTPA-HB katalizörlerinde TPA'nın karakteristik pikleri net bir şekilde tespit edilememiştir. Freitas ve diğ. (2018) çalışmalarındaki çoğu kompozitin kristal bir HPA fazı sergilemediğini, bunun HPA partiküllerinin tespit edilemeyecek kadar küçük olmasından veya destek üzerinde iyi dağılmasından kaynaklanabileceğini belirtmişlerdir (Freitas ve diğ., 2018). Bununla birlikte, %5TPA-HB için 10,4°'lik 2θ değerindeki pikin yoğunluğunda hafif bir artış gözlenmiştir. Bu artışın TPA'nın katı halinin karakteristik pikinin HB zeoliti ile çakıştığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Atalay ve Gündüz, 2011).

Yığın ve HB zeoliti üzerine ağırlıkça % TPA yüklemesine sahip (%xTPA-HB) destekli katalizörlerin N_2 adsorpsiyon-desorpsiyon izotermi Şekil 2'de verilmektedir. Katalizörlerin izotermi, mezogözeneklerin varlığını gösteren histerezis döngüleriyle birlikte tip I ve tip IV'ün bir kombinasyonudur (Sing ve diğ., 1985). Destekli katalizörlerin destekle benzer izotermilere sahip olması desteğin yapısının bozulmadığını, adsorpsiyon miktarındaki düşüş ise HB'nin gözeneklerinin TPA ile dolduğunu göstermektedir (Pithadia, Patel ve Hatiya, 2022). Yığın ve destekli katalizörlerin gözenek boyutu dağılımları Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. HB ve %xTPA-HB Katalizörlerinin N_2 Adsorpsiyon-Desorpsiyon İzotermi ve Gözenek Boyutu Dağılım Eğrileri

Yığın ve destekli katalizörlerin dokusal özellikleri Tablo 2'de özetlenmiştir. HB zeolit üzerine TPA yüklemesi katalizörlerin yüzey alanını (S) ve gözenek hacmini (V) azaltmıştır. Sonuçlar zeolit desteklerin gözeneklerinin TPA ile dolu olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte, yığın ve destekli katalizörlerin gözenek çapı (D_{por}) 3,1 ile 3,8 nm arasında küçük bir değişiklik göstermiştir. Destekli katalizörlerin gözenek boyutundaki artış, katalizörlerin hazırlanması sırasında gerçekleşen kısmi dealuminasyondan kaynaklanmaktadır (Freitas, Paiva, Dias ve Dias, 2017).

Tablo 2. Katalizörlerin Dokusal Özellikleri

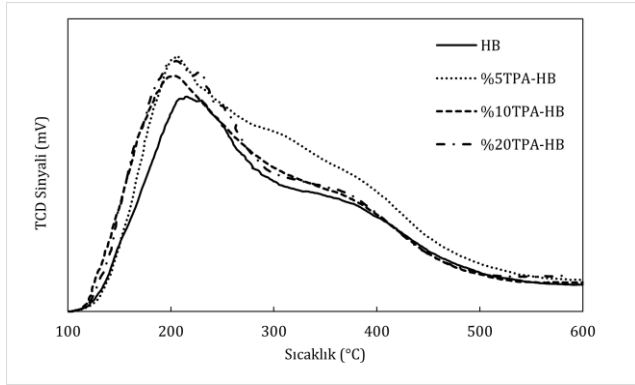
Katalizör	S_{BET} (m^2/g)	S_{mikro}^a (m^2/g)	S_{mezo}^b (m^2/g)	V_{mikro}^a (cm^3/g)	V_{mezo}^b (cm^3/g)	$V_{toplanc}^c$ (cm^3/g)	D_{por}^b (nm)
HB	631	383	166	0,16	0,69	0,90	3,06
%5TPA-HB	541	357	138	0,15	0,71	0,89	3,06
%10TPA-HB	507	330	132	0,14	0,64	0,80	3,82
%20TPA-HB	403	231	122	0,09	0,63	0,76	3,42

^a t-Metot

^b BJH Metot (adsorpsiyon branch)

^c $p/p_0=0,99$ da adsorplanan hacim

Katalizörlerin asidik özelliklerini belirlemek için NH_3 -TPD analiz sonuçları değerlendirilmiştir. HB ve %xTPA-HB katalizörlerinin NH_3 -TPD profilleri Şekil 3'te sunulmuştur.



Şekil 3. HB ve %xTPA-HB Katalizörlerinin NH₃-TPD Profilleri

Katalizör numuneleri, Şekil 3'te görüldüğü gibi iki desorpsiyon piki sergilemektedir. Yaklaşık 100-300 °C ve 300-550 °C'de tespit edilen pikler sırasıyla zayıf ve güçlü asidik bölgelere karşılık gelmektedir (Almulla, Ali, Aldossary, Alnaimi ve Garforth, 2020). Desorplanan amonyakın pik alanlarına göre belirlenen asidik bölgelerin sayısı Tablo 3'te listelenmiştir.

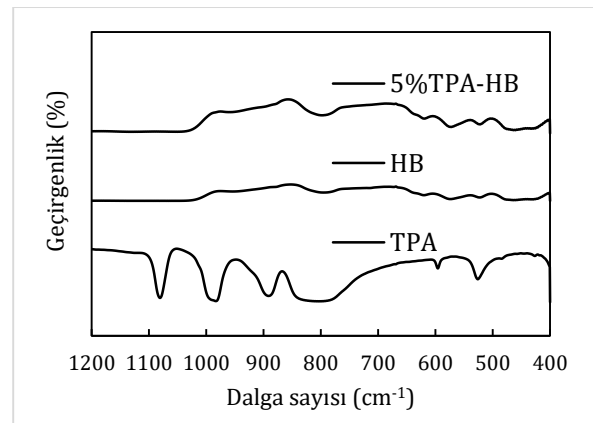
Tablo 3. NH₃-TPD Deneyleri ile Belirlenen Katalizörlerin Asidik Bölgeleri

Katalizör	Asidik alanlar (mmol/g)		Toplam
	Zayıf (150-300 °C)	Kuvvetli (300-550 °C)	
HB	1,33	0,48	1,81
5%TPA-HB	0,95	0,68	1,63
10%TPA-HB	1,10	0,54	1,64
20%TPA-HB	1,05	0,28	1,33

Tablo 3, TPA yüklemesi ile HB'nin zayıf asidik bölgelerinin sayısında bir azalma olduğunu göstermektedir. Destekli katalizörün toplam asidik bölgesi sayısı HB üzerindeki ağırlıkça %10 TPA yüklemesine kadar sabit kalmıştır. Bununla birlikte, TPA yüklemesindeki daha fazla artış, toplam asidik bölgelerinde bir azalma ile sonuçlanmıştır. Destekli katalizörler arasında %5 TPA-HB, hem Brønsted hem de Lewis asidik bölgeleri dahil olmak üzere en yüksek sayıda güçlü asidik bölgeye sahiptir. HB üzerine ağırlıkça %20 TPA yüklemesine sahip destekli katalizörün güçlü asidik bölgelerinin sayısı diğer katalizörlere kıyasla daha düşüktür. Jansen ve diğ. (1997) zeolit beta'nın mikro gözeneklerde ve nispeten geniş dış yüzeyde Brønsted asidik bölgelerine sahip olduğunu bildirmiştir (Jansen, Creyghton, Njo, van Koningsveld ve van Bekkum, 1997). Daha yüksek TPA yüklemelerinde TPA'nın kristal formunun oluşması, numunelerin daha küçük bir yüzey alanına sahip olmasıyla açıklanabilir ve bu da asitlikte bir düşüşe neden olur (Viswanadham, Pavankumar ve Chary, 2014; Wang ve Liu, 2021). Bununla birlikte, asidik bölgelerin gücü, katalitik aktivite için çok önemlidir. Zeng ve diğ. (2019) NH₃-TPD'de daha yüksek

desorpsiyon sıcaklığının, asidik bölgelerinin daha yüksek gücüne bağlı olarak, adsorbe edilen amonyak molekülleri ile yüzey asidik bölgeleri arasında daha yüksek bağlanma enerjilerinden kaynaklandığını belirtmiştir (Zeng ve diğ., 2019). Şekil 3, %5TPA-HB örneğinin diğerlerine göre daha yüksek desorpsiyon sıcaklığına sahip olduğunu göstermektedir. Destek ve TPA arasındaki elektronik etkileşimler, desorpsiyon pikinin daha yüksek sıcaklıklara doğru kaymasını açıklamaktadır (Katryniok ve diğ., 2012).

TPA, HB ve %5TPA-HB katalizörlerinin 1200-400 cm⁻¹ aralığındaki FTIR spektrumları Şekil 4'te verilmektedir. TPA'nın FTIR spektrumu 1080, 983, 890 ve 796 cm⁻¹'de sırasıyla P-O, W=O, W-O-W (köşe paylaşan oksijen) ve W-O-W (kenar paylaşan oksijen) fazlarına atfedilen dört karakteristik banda sahiptir (Viswanadham, Nagaraju, Rohitha, Vishwanathan ve Chary, 2018; Wang, Song ve Sun, 2016). HB ve %5TPA-HB'nin FTIR spektrumları 1020-1200 cm⁻¹ bölgesinde geniş pikler göstermiştir. Bu geniş pik, zeolit çerçevesindeki silisyum ve alüminyum içeriğine bağlı olan asimetrik gerilim titreşimi O-T-O'ya atfedilmektedir (Narkhede ve Patel, 2013). Bu geniş bant, %5 TPA-HB numunesindeki TPA'nın P-O bantlarının gerilim titreşimi ile örtüşmektedir. Bununla birlikte, 890 cm⁻¹'deki gerilim titreşimi %5TPA-HB'de mevcut olmasına rağmen 983 cm⁻¹'deki titreşim Jovic ve diğ. (2017) çalışmalarında da belirttikleri gibi sadece daha yüksek (%20 TPA'dan daha yüksek) yüklemelerde görülebilir (Jovic ve diğ., 2017). Bu sonuçlar, TPA'nın literatürde bildirildiği gibi H-Beta zeolit üzerinde başarılı bir şekilde yüklendiğini doğrulamaktadır (Viswanadham ve diğ., 2018; Wang ve diğ., 2016).

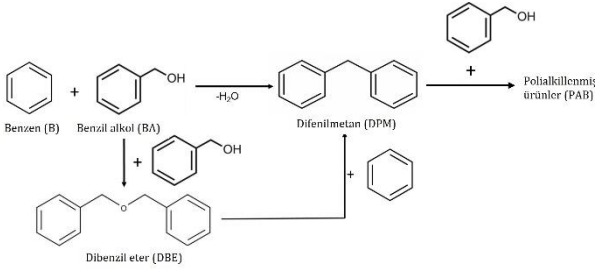


Şekil 4. Yığın ve Destekli Katalizörlerin FTIR Spektrumları

3.2. Katalizörlerin Aktivite Testleri

Katalizörlerin katalitik performansı, DPM sentezinde benzenin benzil alkol ile reaksiyonu için değerlendirilmiştir. Şekil 5 toplam reaksiyonu göstermektedir (Karabulut ve Akyalcin, 2021). Reaksiyon, B/BA molar oranı 56/1 ve ağırlıkça %0,56 katalizör yüklemesi ile 80°C'de gerçekleştirilmiştir. BA

dönüşümü, ürün verimi ve 60 dakikalık bir reaksiyon süresinden sonra DPM seçiciliği Tablo 4'te verilmiştir.



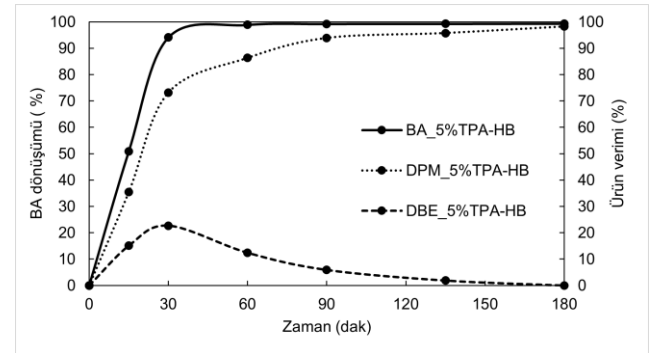
Şekil 5. Benzen ile Benzil Alkolün Toplam Reaksiyonu

Tablo 4. 56/1 B/BA Molar Oranında, Ağırlıkça %0,56 Katalizör Yüklemesinde, 80 °C Reaksiyon Sıcaklığında ve 60 Dakika Reaksiyon Süresinde Çeşitli Katalizörler Varlığında Benzenin Benzil Alkol ile Benzilasyonu

Katalizör	BA dönüşümü (%)	Ürünlerin verimi (%)			DPM seçici liği (%)	TOF (dak ⁻¹)
		DPM	DBE	PAB		
HB	66,5	44,5	22,0	0,0	66,9	-
%5TPA-HB	98,9	86,3	12,4	0,2	87,3	35,05
%10TPA-HB	98,8	83,6	8,4	6,8	84,6	22,15
%20TPA-HB	98,7	74,2	11,4	13,1	75,2	8,64

Tablo 4, TPA emdirilmiş H-Beta zeolitlerin H-Beta zeolitten daha yüksek katalitik aktiviteye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu beklenen bir sonuçtur. Zeng ve diğ. (2019) Brønsted asit kuvvetinin artırılmasının mikro-HB ve mezo-HB zeolitleri üzerinde benzilasyon reaksiyonlarını teşvik edebileceğini bildirmiştir (Zeng ve diğ., 2019). TPA'nın güçlü Brønsted asitliğinden yararlanılarak hazırlanan destekli katalizörler, benzilasyon reaksiyonunda H-Beta zeolitlerin katalitik aktivitesini arttırmıştır. Bununla birlikte, numunelerin katalitik aktivitesi, zeolitler üzerindeki TPA yüklemesinin artışına göre herhangi bir düzenlilik göstermemiştir. Desteklenen katalizörlerin TPA dağılımıyla ilgili olan asidik özellikleri, numunelerin katalitik aktivitesini etkilemektedir. TPA yüklemesi HB zeoliti için ağırlıkça %5'e ulaştığında, katalizörün güçlü asit bölgelerinin sayısı ve gücü maksimuma ulaşır ve bu da %10TPA-HB için hesaplanan 22,15 dak⁻¹'e kıyasla 35,05 dak⁻¹'lik daha yüksek bir TOF ile sonuçlanır. %xTPA-HB numunelerindeki güçlü asit bölgelerinin (Brønsted ve Lewis asit bölgeleri) sayısı (bkz.Tablo 3) artan TPA yüklemesi ile azalsa da erişilebilir güçlü Brønsted asit bölgesi miktarı ~%99 BA dönüşümü sağlamıştır (Tablo 4). Zeng ve diğ. (2019) mikro-HB zeolitleri (1,1-1,2 nm) ve mezo-HB zeolitleri (13,5-15,7 nm) hazırlamışlar ve bu katalizörleri arenlerin benzil alkol ile benzilasyonunda test etmişlerdir. Mezo-HB zeolitlerinde yüzeydeki aktif alanların, sadece büyük arenler için değil, tüm arenler için mikro-HB zeolitleri

üzerindekilerden daha aktif olduğunu belirtmişlerdir (Zeng ve diğ., 2019). Katalizörün gözenek kanalları ve gözenek boyutu reaktantların, ara ürünlerin ve ürünlerin kütle aktarım kabiliyeti için çok önemli olsa da erişilebilir güçlü Brønsted asidik bölgelerin sayısı benzil alkol dönüşümü için gereklidir. Tablo 4'te özetlendiği üzere, HB katalizörlüğünde DPM verimi %44,5 iken %5TPA-HB katalizörü varlığında %86,3'e yükselmiştir. TPA yüklemesinin artması, PAB oluşumu nedeniyle DPM seçiciliğini %87,3'ten %75,2'ye düşmesine neden olmuştur. Benzilasyon reaksiyonu, %5TPA-HB katalizörü varlığında, B/BA molar oranı 56/1, katalizör yüklemesi ağırlıkça %0,56 ve reaksiyon sıcaklığı 80°C'de 180 dakika süreyle gerçekleştirilmiştir. Reaksiyon süresine karşı BA dönüşümü ve ürün verimi Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. 56/1 B/BA Molar Oranında, Ağırlıkça %0,56 Katalizör Yüklemesinde ve 80 °C Reaksiyon Sıcaklığında %5TPA-HB Katalizörlüğünde Benzenin Benzil Alkol ile Benzilasyonu İçin Reaksiyon Süresine (dak.) Karşı BA Dönüşümü (%) ve Ürün Verimi (%)

Şekil 6'da gösterildiği gibi, %5TPA-HB katalizörü varlığında BA dönüşümü 30 dakika reaksiyon süresinde %94,1'e ulaşmıştır. DPM verimi zamanla artarken, DBE verimi 30 dakikalık reaksiyon süresinde maksimuma ulaşmış ve daha sonra reaksiyonun geri kalanında DPM oluşturmak için tüketilmiştir. Şekil 5, DPM oluşturmak üzere benzenin benzil alkol ile reaksiyonu için iki reaksiyon basamağı önerildiğini göstermektedir: (1) benzenin benzil alkol ile alkilasyonu ile doğrudan oluşum ve (2) benzil alkolün kendi kendine yoğunlaşması ile oluşan DBE'nin DPM'e dönüşümü. TPA yüklemesine bağlı olarak Brønsted asidik bölgelerinin sayısındaki artış, PAB oluşum oranını artırmış ve bu da DPM'de bir azalmaya yol açmıştır (bkz. Şekil 5).

Benzenin benzil alkol ile reaksiyonunda kullanılan %5TPA-HB'nin katalitik performansı, literatürde daha önce bildirilen katalizörlerle karşılaştırılmıştır (Tablo 5).

Tablo 5. Rapor Edilen Katalizörlerle Karşılaştırma

Katalizör	BA miktarı (mmol)	Reaksiyon koşulları*	BA dönüşümü (%)	DPM Seçiciliği (%)	Kaynak
5%TPA-HB	7,95	56/1:200:80:1 56/1:200:80:1,5	98,9 100	87,3 94	Bu çalışma
50%TPA-MCM-41	9,24	21/1:50:90:1 21/1:50:90:4	86 100	41 80	(Kamalakar ve diğ., 2006)
P(VB-VMS) PW	4	5/1:100:120:8	78,4	88,2	(Li ve diğ., 2014)
HMCM-22	7,95	56/1:200:80:1,5	73,6	48,5	(Karabulut ve Akyalcin, 2021)

* Reaksiyon koşulları= B/BA molar oranı: katalizör miktarı (mg): sıcaklık (°C): zaman (saat)

Tablo 5, katalizörün doğasının ve reaksiyon koşullarının, yani reaktant molar oranı, katalizör yüklemesi ve reaksiyon sıcaklığının BA dönüşümünü ve DPM seçiciliğini etkilediğini göstermektedir. Li ve diğ. (2014) benzilasyon reaksiyonunu yeni bir heteropoli anyon bazlı asidik iyonik sıvı fonksiyonlu mezogözenekli kopolimer olan P(VB-VMS) PW üzerinde gerçekleştirmişler ve 120 °C'de 8 saatte %78,4 BA dönüşümü elde etmişlerdir (Li ve diğ., 2014). Sistemin reaktant molar oranı ve katalizör miktarı bizim sistemimizden daha düşük olmasına rağmen, bu çalışmada %5TPA-HB katalizörü varlığında 80 °C reaksiyon sıcaklığında bir saatlik reaksiyon süresinde %98,9 BA dönüşümü elde edilmiştir. Aynı reaksiyon koşulları altında HMCM-22 ve %5TPA-HB zeolitlerinin katalitik aktiviteleri değerlendirildiğinde, %5TPA-HB varlığında BA dönüşümü HMCM-22 varlığında elde edilenden daha yüksektir. Ayrıca, %5TPA-HB, %50TPA-MCM-41'den daha yüksek DPM seçiciliği sergilemiştir.

4. Sonuç

Difenilmetan, H-Beta zeolit destekli tungstofosforik asit varlığında basit ve çevre dostu bir yöntem olan benzenin benzil alkol ile reaksiyonu sonucunda sentezlenmiştir. TPA emdirilmiş H-Beta kullanımı, mezoporozite ve artan Brønsted asit bölgesi sayısı nedeniyle daha yüksek DPM verimi ile sonuçlanmıştır. Beta zeolit üzerine ağırlıkça %5 tungstofosforik asit yüklenen destekli katalizör (%5TPA-HB), tungstofosforik asit ve H-Beta zeolit arasındaki sinerjik etki nedeniyle hazırlanan tüm katalizörler arasında en yüksek katalitik aktivite ve DPM seçiciliğini göstermiştir. 56/1 B/BA molar oranında, ağırlıkça %0,56 katalizör yüklemesinde, 80°C reaksiyon sıcaklığında ve 90 dakika reaksiyon süresinde, BA dönüşümü %100'e DPM seçiciliği %94'e ulaşmıştır. Bu sonuçlar, %5TPA-HB'nin DPM sentezinde potansiyel uygulamalara sahip olduğunu göstermektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Eskişehir Teknik Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Proje Komisyonu tarafından 19ADP079 ve 20ADP151 numaralı projeler kapsamında

desteklenmiştir. ICP-OES analizleri için ODTÜ Merkez Laboratuvarı'na (Ankara, Türkiye) teşekkür ederiz.

Araştırmacıların Katkısı

Bu çalışmada; Yazar1 literatür araştırması, deneysel çalışmaların yürütülmesi, sonuçların değerlendirilmesi, yorumlanması ve makale yazımı; Yazar2 sonuçların değerlendirilmesi, yorumlanması ve makale yazımı; Yazar3 ve Yazar4 deneysel çalışmaların yürütülmesinde katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- Akyalcin, S., Akyalcin, L. & Bjørgen, M. (2019). Optimization of desilication parameters of low-silica ZSM-12 by Taguchi method. *Microporous and Mesoporous Materials*, 273, 256–264. doi: <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2018.07.014>
- Almulla, F. M., Ali, S. A., Aldossary, M. R., Alnaimi, E. I., Jumah, A. bin & Garforth, A. A. (2020). Transalkylation of 1,2,4-trimethylbenzene with toluene over large pore zeolites: Role of pore structure and acidity. *Applied Catalysis A: General*, 608, 117886. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2020.117886>
- Atalay, B. & Gündüz, G. (2011). Isomerization of α -pinene over H3PW12O40 catalysts supported on natural zeolite. *Chemical Engineering Journal*, 168(3), 1311–1318. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.02.037>
- Bai, G., Li, T., Yang, Y., Zhang, H., Lan, X., Li, F., Han, J., Ma, Z., Chen, Q. & Chen, G. (2012). Microwave-assisted Friedel-Crafts acylation of indole with acetic anhydride over tungstophosphoric acid modified H β zeolite. *Catalysis Communications*, 29, 114–117. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2012.09.028>
- Baroi, C. & Dalai, A. K. (2014). Esterification of free fatty acids (FFA) of Green Seed Canola (GSC) oil using H-Y zeolite supported 12-Tungstophosphoric acid (TPA). *Applied Catalysis A: General*, 485, 99–107. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2014.07.033>
- Bhatt, N. & Patel, A. (2011). Supported 12-tungstophosphoric acid: A recoverable solid acid catalyst for liquid phase Friedel-Crafts alkylation of phenol. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 42(2), 356–362. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2010.07.017>

- Candu, N., Florea, M., Coman, S. M. & Parvulescu, V. I. (2011). Benzylolation of benzene with benzyl alcohol on zeolite catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 393(1-2), 206-214. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2010.11.044>
- Candu, N., Wuttke, S., Kemnitz, E., Coman, S. M. & Parvulescu, V. I. (2012). Replacing benzyl chloride with benzyl alcohol in heterogeneous catalytic benzylolation of aromatic compounds. *Pure and Applied Chemistry*, 84(3), 427-437. doi: <https://doi.org/10.1351/PAC-CON-11-09-34>
- Chaube, V. D. (2004). Benzylolation of benzene to diphenylmethane using zeolite catalysts. *Catalysis Communications*, 5(6), 321-326. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2004.02.013>
- Devassy, B. M. & Halligudi, S. B. (2005). Zirconia-supported heteropoly acids: Characterization and catalytic behavior in liquid-phase veratrole benzoylation. *Journal of Catalysis*, 236(2), 313-323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2005.09.016>
- Freitas, E. F., Araújo, Á. A. L., Paiva, M. F., Dias, S. C. L. & Dias, J. A. (2018). Comparative acidity of BEA and Y zeolite composites with 12-tungstophosphoric and 12-tungstosilicic acids. *Molecular Catalysis*, 458, 152-160. doi: <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2018.03.005>
- Freitas, E. F., Paiva, M. F., Dias, S. C. L. & Dias, J. A. (2017). Generation and characterization of catalytically active sites of heteropolyacids on zeolite Y for liquid-phase esterification. *Catalysis Today*, 289, 70-77. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cattod.2016.08.010>
- Jansen, J. C., Creighton, E. J., Njo, S. L., van Koningsveld, H. & van Bekkum, H. (1997). On the remarkable behaviour of zeolite Beta in acid catalysis. *Catalysis Today*, 38(2), 205-212. doi: [https://doi.org/10.1016/S0920-5861\(97\)00070-9](https://doi.org/10.1016/S0920-5861(97)00070-9)
- Jin, H., Ansari, M. B., Jeong, E. Y. & Park, S. E. (2012). Effect of mesoporosity on selective benzylolation of aromatics with benzyl alcohol over mesoporous ZSM-5. *Journal of Catalysis*, 291, 55-62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2012.04.006>
- Jovic, A., Bajuk-Bogdanovic, D., Nedic Vasiljevic, B., Milojevic-Rakic, M., Krajcnsnik, D., Dondur, V., Popa, A., Uskokovic-Markovic, S. & Holclajtner-Antunovic, M. (2017). Synthesis and characterization of 12-phosphotungstic acid supported on BEA zeolite. *Materials Chemistry and Physics*, 186, 430-437. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.11.015>
- Kamalakar, G., Komura, K., Kubota, Y. & Sugi, Y. (2006). Friedel-Crafts benzylolation of aromatics with benzyl alcohols catalyzed by heteropoly acids supported on mesoporous silica. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 81(6), 981-988. doi: <https://doi.org/10.1002/jctb.1488>
- Karabulut, D. & Akyalcin, S. (2021). Friedel-Crafts alkylation of benzene with benzyl alcohol over H-MCM-22. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 19(5), 541-551. doi: <https://doi.org/10.1515/ijcre-2020-0175>
- Katryniok, B., Paul, S., Capron, M., Bellière-Baca, V., Rey, P. & Dumeignil, F. (2012). Regeneration of silica-supported silicotungstic acid as a catalyst for the dehydration of glycerol. *ChemSusChem*, 5(7), 1298-1306. doi: <https://doi.org/10.1002/cssc.201100635>
- Kozhevnikov, I. V. (2007). Sustainable heterogeneous acid catalysis by heteropoly acids. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 262(1-2), 86-92. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2006.08.072>
- Kuai, L., Wang, M., Meng, X., Shi, L. & Liu, N. (2022). W Modified HY Zeolite as Catalyst for Alkylation of Aromatic. *Catalysis Letters*, 152(8), 2480-2490. doi: <https://doi.org/10.1007/s10562-021-03820-4>
- Kurnia, I., Karnjanakom, S., Bayu, A., Yoshida, A., Rizkiana, J., Prakoso, T., Abudula, A. & Guan, G. (2017). In-situ catalytic upgrading of bio-oil derived from fast pyrolysis of lignin over high aluminum zeolites. *Fuel Processing Technology*, 167, 730-737. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2017.08.026>
- Leng, K., Sun, S., Wang, B., Sun, L., Xu, W. & Sun, Y. (2012). Benzylolation of benzene with benzyl chloride on iron-containing mesoporous mordenite. *Catalysis Communications*, 28, 64-68. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2012.08.016>
- Li, J., Zhou, Y., Mao, D., Chen, G., Wang, X., Yang, X., Wang, M., Peng, L. & Wang, J. (2014). Heteropolyanion-based ionic liquid-functionalized mesoporous copolymer catalyst for Friedel-Crafts benzylolation of arenes with benzyl alcohol. *Chemical Engineering Journal*, 254, 54-62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.05.124>
- Narkhede, N. & Patel, A. (2013). Biodiesel production by esterification of oleic acid and transesterification of soybean oil using a new solid acid catalyst comprising 12-tungstosilicic acid and zeolite h β . *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 52(38), 13637-13644. doi: <https://doi.org/10.1021/ie402230v>

- Pithadia, D., Patel, A. & Hatiya, V. (2022). 12-Tungstophosphoric acid anchored to MCM-22, as a novel sustainable catalyst for the synthesis of potential biodiesel blend, levulinate ester. *Renewable Energy*, 187, 933–943. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.01.106>
- Sakhthivel, A., Komura, K. & Sugi, Y. (2008). MCM-48 supported tungstophosphoric acid: An efficient catalyst for the esterification of long-chain fatty acids and alcohols in supercritical carbon dioxide. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 47(8), 2538–2544. doi: <https://doi.org/10.1021/ie071314z>
- Satam, J. R. & Jayaram, R. V. (2008). Liquid phase Friedel-Crafts benzylation of aromatics on a polymer-supported 12-tungstophosphoric acid catalyst. *Catalysis Communications*, 9(9), 1937–1940. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2008.03.018>
- Sing, K. S. W., Everett, D. H., Haul, R. A. W., Moscou, L., Pierotti, R. A., Rouquerol, J. & Siemieniewska, T. (1985). Reporting physisorption data for gas/solid systems with special reference to the determination of surface area and porosity (Recommendations 1984). *Pure and Applied Chemistry*, 57(4), 603–619. doi: <https://doi.org/10.1351/pac198557040603>
- Singh, A. P., Bhattacharya, D. & Sharma, S. (1995). Benzoylation of toluene with benzoyl chloride over zeolite catalysts. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 102(3), 139–145. doi: [https://doi.org/10.1016/1381-1169\(95\)00104-2](https://doi.org/10.1016/1381-1169(95)00104-2)
- Sun, Y. & Prins, R. (2008). Friedel-Crafts alkylations over hierarchical zeolite catalysts. *Applied Catalysis A: General*, 336(1–2), 11–16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2007.08.015>
- Viswanadham, B., Nagaraju, N., Rohitha, C. N., Vishwanathan, V. & Chary, K. V. R. (2018). Synthesis, Characterization and Catalytic Dehydration of Glycerol to Acrolein Over Phosphotungstic Acid Supported Y-Zeolite Catalysts. *Catalysis Letters*, 148(1), 397–406. doi: <https://doi.org/10.1007/s10562-017-2236-9>
- Viswanadham, B., Pavankumar, V. & Chary, K. V. R. (2014). Vapor phase dehydration of glycerol to acrolein over phosphotungstic acid catalyst supported on niobia. *Catalysis Letters*, 144(4), 744–755. doi: <https://doi.org/10.1007/s10562-014-1204-x>
- Wang, Y., Sun, Y., Lancelot, C., Lamonier, C., Morin, J. C., Revel, B., Delevoye, L. & Rives, A. (2015). Effect of post treatment on the local structure of hierarchical Beta prepared by desilication and the catalytic performance in Friedel-Crafts alkylation. *Microporous and Mesoporous Materials*, 206, 42–51. doi: <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2014.12.017>
- Wang, Y., Song, H. & Sun, X. (2016). Alkylation of toluene with tert-butyl alcohol over HPW-modified H β zeolite. *Cuihua Xuebao/Chinese Journal of Catalysis*, 37(12), 2134–2141. doi: [https://doi.org/10.1016/S1872-2067\(16\)62587-1](https://doi.org/10.1016/S1872-2067(16)62587-1)
- Wang, Z. & Liu, L. (2021). Mesoporous silica supported phosphotungstic acid catalyst for glycerol dehydration to acrolein. *Catalysis Today*, 376, 55–64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.08.007>
- Wu, Y., Ye, X., Yang, X., Wang, X., Chu, W. & Hu, Y. (1996). Heterogenization of Heteropolyacids: A General Discussion on the Preparation of Supported Acid Catalysts. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 35(8), 2546–2560. doi: <https://doi.org/10.1021/ie950473s>
- Yin, D., Li, C., Tao, L., Yu, N., Hu, S. & Yin, D. (2006). Synthesis of diphenylmethane derivatives in Lewis acidic ionic liquids. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 245(1–2), 260–265. doi: <https://doi.org/10.1016/j.molcata.2005.10.010>
- Zeng, X., Wang, Z., Ding, J., Wang, L., Jiang, Y., Stampfl, C., Hunger, M. & Huang, J. (2019). Catalytic arene alkylation over H-Beta zeolite: Influence of zeolite shape selectivity and reactant nucleophilicity. *Journal of Catalysis*, 380, 9–20. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2019.09.035>

EXAMINING THE EFFECTS OF HIGH-DENSITY HOUSING ON USERS' MENTAL JUDGMENTSNavid KHALEGHIMOGHADDAM^{1*}¹ Konya Food and Agriculture University, Faculty of Engineering and Architecture, Interior Architecture Department, KonyaORCID No: <https://orcid.org/0000-0003-2505-207X>

Keywords	Abstract
High-Density Housing Mental Judgment Housing Residents Karaj	<i>Today, high-density urban areas have emerged as a result of an economic approach to accommodate more people. The concept of density as a quantitative measure indicating the density of settlements and the population living in them has profound implications for social living conditions, safety in communal spaces, and perceptions of the environment. In such cases, residents evaluate environmental density based on their own impressions. This mental process of perception and assessment is based on physical features. Therefore, to address this issue thoroughly, the present study aims to consider the psychological effects and other dimensions of density. By identifying these factors, the study tries to propose any potential solutions for lessening the detrimental impacts of high residential density. To this end, it examines the effects of housing density on residents' mental judgements in the city of Karaj, Iran, and focuses on the socio-economic structures of residents in order to improve understanding of housing units arrangement. In this context, literature review was conducted to investigate the notion of housing density, and the factors influencing mental judgments were extracted and given in the form of a conceptual model of study. Then, to test the relevant model, a survey and field studies were used. Findings showed that the location, the height, and the interior design of the residential units influence the users' mental judgements. Furthermore, the findings indicated that the perception of density in residential environments is affected by structural features, preferences for housing type, and the presence of common open spaces in complexes.</i>

ÇOK YOĞUN KONUT YAPILAŞMALARININ KULLANICILARIN ZİHİNSEL YARGILARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Anahtar Kelimeler	Öz
Yoğun Konut Yapılaşması Zihinsel Yargı Konut Sakinler Karaj	<i>Günümüzde, ekonomik bir yaklaşımın sonucu olarak daha fazla insanı bir yerde barındırmak adına yoğun kentsel alanlar ortaya çıkmaktadır. Yoğunluk kavramı, yerleşim birimlerinin ve içinde yaşayan nüfusun yoğunluğunu gösteren nicel bir ölçü olarak sosyal yaşam koşullarını, ortak alanlardaki güvenliği ve çevre algısını derinden etkilemektedir. Bu durumda, konut sakinleri, çevresel yoğunluğu kişisel algılarına dayanarak değerlendirirler. Bu zihinsel yargı ve değerlendirme süreci, çoğunlukla fiziksel faktörler olarak kabul edilen etkenlere dayanmaktadır. Dolayısıyla, bu konuyu kapsamlı bir şekilde ele alabilmek için, bu çalışma yoğunluğun psikolojik etkilerini ve diğer boyutlarına dikkat çekmeyi amaçlamaktadır. Araştırma, bu etkenleri tanımlayarak çok yoğun konut yapılaşmalarının olumsuz etkilerini azaltmak için potansiyel çözümler önermeye çalışmaktadır. Buna göre, araştırma konut birimlerinin düzenlenmesi ile ilgili tasarım bilgisini geliştirmeyi hedefleyerek sakinlerin sosyo-ekonomik yapılarına odaklı İran'ın Karaj şehrindeki konut yoğunluğunun sakinlerin zihinsel yargıları üzerindeki etkisini incelemektedir. Bu bağlamda, konut yoğunluğu kavramını incelemek üzere literatür taraması yapılmış olup zihinsel yargıları etkileyen faktörler çıkarılmış ve çalışmanın kavramsal modeli şeklinde sunulmuştur. İlgili modeli test etmek için anket ve alan çalışması kullanılmıştır. Bulgular, konut birimlerinin konumu, yüksekliği ve iç tasarımının kullanıcıların zihinsel yargılarını etkilediğini göstermektedir. Ayrıca, bulgular konut çevrelerindeki yoğunluk algısının yapısal özelliklerden, konut tipi tercihlerinden ve komplekslerdeki ortak açık alanların varlığından etkilendiğini göstermektedir.</i>

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi

Kabul Tarihi

: 25.11.2023

: 02.09.2024

Research Article

Submission Date

Accepted Date

: 25.11.2023

: 02.09.2024

* Sorumlu yazar: navid.khaleghi1363@gmail.com<https://doi.org/10.31796/ogummf.1395837>Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makaledir.This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

In view of population growth and the importance of the residential environment, the concept of density in residential complexes is considered one of the prerequisites for developed cities. Rapid population growth has posed many problems for the settlement and construction of human societies, complexities that have impacted the economic, social, and environmental dimensions. In the planning and design of residential environments, population growth has made the densification of urban spaces a new element in dealing with urban issues, the dimensions of which are not limited to population growth (Kuddus, Tynan, & McBryde, 2020). Density is a theoretical concept in architectural planning and design, and it is considered to predict and control the way land is used (Boyko & Cooper, 2011). It is influenced by the social and cultural context as well as by political and economic attitudes (Pont & Haupt, 2007). Generally, urban and housing planning regulations are set on the basis of population density, housing density, and the degree of land use, which is considered one of the greatest challenges in contemporary urban planning and design (Zhang & Yan, 2023; Ahmadian et al, 2019). For this reason, researchers, and practitioners in the fields of urban planning, urban design, architecture, transportation, economics, sociology, psychology, anthropology, and ecology have paid particular attention to this concept (Sivam, Karuppanan, & Davis, 2012).

"High-density housing" often refers to residential projects that contain a significant number of dwelling units on a small plot of land. The definition of high density varies based on local legislation, urban planning goals, and cultural preferences, but it typically entails squeezing more residential units into a given space than lower-density constructions. To maximise land usage efficiency, high-density housing frequently includes taller buildings. This can vary from mid-rise to high-rise constructions. The proportion of a lot that can be covered by buildings. High-density buildings may have larger lot coverage to allow more dwelling units. Units in high-density housing are frequently smaller in order to fit more people into a building or complex. Regardless of the increased density, there is frequently an emphasis on providing appropriate facilities and open spaces inside or near high-density complexes to improve inhabitants' quality of life (Cho & Sawaki, 2007). In this sense, units per acre or hectare is one of the most often used housing density measurements. High-density housing frequently has a much larger number of dwelling units per unit of land area than lower-density buildings. Low density is defined as 1-10 housing units per acre, medium density as 10-30 dwelling units per acre, and high density as 30 or more dwelling units per acre (Ellis, 2004). While not a direct measure of density, building height is commonly linked to density in high-density housing developments. Taller

constructions allow for more vertically stacked living units, resulting in a greater total density. Building height limitations vary widely depending on local zoning rules and urban development objectives.

In recent decades, with the introduction of the concept of sustainable development and the criticism of the indiscriminate expansion and low density of cities, the policy of densification has been considered a solution for most new planning approaches on a global scale (Ahlfeldt, Redding, Sturm, & Wolf, 2015). However, it should be noted that dense development has been proposed as a strategy in European and North American countries and makes sense. Although the situation in developing countries is not the same as in industrialised countries, the issue of urbanisation has developed fundamentally differently in developing countries than in Western countries (Ahmadi et al., 2019). In recent years, cities in developing countries have grown rapidly due to rapid economic development. At the same time, however, they have also faced serious challenges such as a lack of housing and infrastructure and urban poverty (Dave, 2010). In this way, despite their high density, most urban areas and settlements in these countries do not have the advantages of dense development (Chokhachian, Perini, Giulini & Auer, 2020). In Iran, the growth of cities and increasing urban density solely to solve the problem of housing shortages is a view with quantitative coordinates that ignores quality. Iranian cities today are confronted with the phenomenon of quantitative growth, in which the discussion of development as a qualitative concept is absent.

Simply increasing building density without considering the relationship between the various criteria (e.g., site selection, surrounding land use, neighborhood compatibility, number of family units, common open spaces, indoor and outdoor spaces, unit size, parking, security, noise control, etc.) related to density and the role of each criterion in influencing the quality of the residential environment and the mentality of users will not lead to a favorable result. Therefore, this study aims to examine the effects of housing density in forming residents' mental judgements of the environment in which they live. Additionally, based on such aim, this study attempts to appraise the visual significance of the external environment of the house for the inhabitants. In this regard, the following questions need to be answered:

- 1) Is perceived density, as a subjective dimension of density, affected by the characteristics of the built environment?
- 2) Which physical characteristics affect the perception of density?
- 3) Does typological diversity affect users' perception?

To answer the questions raised, a mixed research method and a survey were used to collect data. In the first step, the study focuses on theories and studies on density and its aspects. In the second step, by analyzing the results of previous studies and considering the concepts related to the topic, the classification of factors that influence the perception of density is presented. In order to experimentally verify and identify these factors in residential areas, in the third step, data are collected using a survey, which is examined and compared in four residential complexes in the city of Karaj, Iran. Finally, the data will be analysed through an exploratory factor analysis.

The findings are expected to cover various aspects, including cognitive issues, perception of the environment, and general mental health. This study's scope will largely research residential situations characterized by high density, as well as assess users' mental judgments, which will include a wide variety of subjective impressions and physical characteristics that persons encounter when living in such dwellings.

2. Literature Review

2.1. The concept of density in residential complexes

In recent decades, with the advent of sustainable development, many studies have attempted to propose a reasonably desirable density, considering the advantages and disadvantages of high densities, and each of them has addressed this issue from a different perspective (e.g. Gibson & Law, 2023; Gomes, 2020; Montgomery, 2013). In this way, a new approach emerged whose tenets were based on optimal density, mixed use, and better access to local services, rather than focusing on the importance of the impact of design on the perception of the built environment and often ignoring the human condition (Raman, 2010). This is despite the fact that density and overpopulation are two connected issues. Observing the criteria for measuring and determining density is not the only solution; the human state decides whether the environment is favorable or unfavorable. When analyzing residential environments, determining density as a starting point forms the basis for making design decisions. All behavior in residential environments is analyzed in terms of density, as various factors influence behavioral qualities in common environments (Mellen & Short, 2023). Therefore, it seems necessary to study and diagnose the conditions that occur in such environments. Even in studies where density is not used, important measures of density are used, such as the amount of open space, the economic conditions of residents, housing types, and open space enclosure systems (Tahvonnen & Airaksinen, 2018).

In general, density in residential areas can be considered on the basis of three different criteria: population density, residential density, and floor area ratio (building density). Population density refers to the number of people per unit area. Residential density, which is the focus of this study, indicates the number of housing units per hectare but not the size of the housing units. The building density (floor area ratio) is the ratio between the total enclosed living space and the total area of the property. It refers to the total area of residential infrastructure on the floors of the entire property, which indicates the amount of built-up area (Kearney, 2006). Biddulph (2007) has divided the relationship between different urban forms and the density of residential complexes into three categories: A) Low altitude, high occupancy rate, with 3 to 4 stories and a common open space; B) Medium altitude, medium occupancy rate, with 4 to 8 floors, and C) High altitude, low occupancy rate, that feature 8 to 14 stories and are designed to make the most use of available space to provide comfort (Figure 1). According to this classification, the same residential densities do not create the same perceptual conditions. The same residential density can have different occupancy levels on the ground floor. In this way, it is possible to have the same density but different forms.

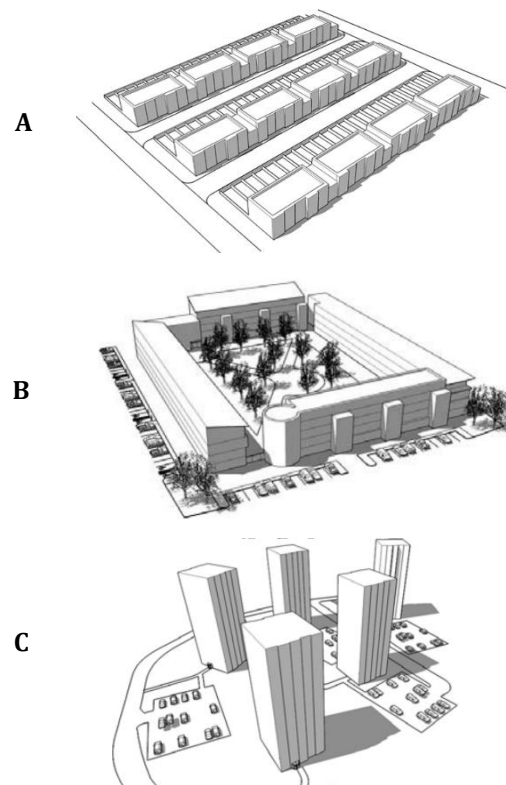


Figure 1. Relationship Between Different Urban Forms and the Density of Residential Complexes (Biddulph, 2007).

2.2. The mental aspects of density in housing

While planners and designers often make decisions about residential environments with a holistic view and density criteria, the evaluation of the living environment by non-experts is clearly different. The physical aspects of the environment that pass through the filter of perception and evaluation influence the satisfaction of the residents. Since non-experts have daily life experiences in residential areas, it is important for experts to examine residents' perspectives and explore the subjective dimensions of density in them. There are three main concepts related to density and how it affects people's lives: criteria for measuring and determining optimal density, perceived density, and crowding (Hur, Nasar, & Chun, 2010). According to Rappaport (1975), density is an objective, quantifiable, and neutral term because it cannot be classified as negative or positive based on a number. While density in living spaces may have both mental and qualitative consequences. Congestion is one of these mental effects which, according to psychologists, is called a state of mental anxiety caused by the qualitative evaluation of congestion (Mangrio & Zdravkovic, 2018). Congestion is the result of a psychological process and a mental and emotional experience that is affected by physical conditions, situation variables, individual characteristics and coping assests (Jacobs & Burch, 2023). On the other hand, density is not a suitable concept to express human experiences of the environment, and crowding is also influenced by cultural characteristics and is completely subjective and intangible. Therefore, the concept of perceptual density is proposed as an objective to subjective concept that is easier for designers to deal with than the concept of crowding (Fisher-Gewirtzman, 2018).

2.3. Perceived density

Perceptual density is usually defined as an estimate of the number of people and their activities, i.e., the volume of people's presence in space, judged by a set of signs in the environment. It seems that the active factors in the perception of density include the physical dimensions, the symbolic perception of an environment, and its socio-cultural characteristics (Pons, Giroux, Mourali, & Zins, 2016). In contrast to measurable density, perceived density is a quantitative and qualitative issue that relates to the physical environment and is based on the perception of the inhabitants. This concept states that the same density is perceived differently by different people in different contexts and cultures (Plane & Mu, 2021). Perceived density means that there are particular conditions in each environment that determine the presence of people and their intensity. This problem usually concerns the way people use and behave. Certain signs can be interpreted as indicators of a dense

environment or they can be signs of a dense environment. In both cases, these signs are at least somewhat independent of the actual average number of people per unit area (Wen, Kenworthy, & Marinova, 2020). Tu and Lin (2008) consider perceived density as the result of physical density and individual cognitive and socio-cultural factors. Accordingly, physical density is not always equal to measurable density. Physical density implies both the measurable density and quality criteria of the environment. Qualitative criteria therefore include various aspects such as the variety of shapes, heights, and details of buildings and landscapes that cannot be measured precisely. Godoy-Shimizu, Steadman and Evans (2021), for example, have shown that low-density detached single-family houses appear denser when the orientation of the houses is unfavorable or the private yards are very small.

In environmental design, the way in which space is organized with objects and with people is of particular importance. In this situation, the arrangement of the elements that make up the environment, i.e., the distances and the proximity to each other and to people, plays the main role in the feeling of density. The feeling of high perceived density arises from the degree of spatial confinement, the illegibility and complexity of spaces and a high level of activity in them; This means that the sense of density is gained through the observation of objects and also through secondary information (Csanady, 2019). Therefore, if designers are aware of perceptual density, they can design physical spaces to convey a sense of lower perceptual density. The design method can amplify or attenuate physical sensory stimuli to increase the low density of an environment and reveal the potential or actual presence of people; But one should not ignore the influence of resources, the proper placement of public services, and the mixing of uses on the perception of density. The nuisances caused by high densities are reduced by increasing the number and quality of access to resources and services such as social services and public parks (Gifford, 2007). After reviewing and analysing the previous writings, it can be concluded that in environments with the same residential density, which differ in form and organisation, the perception of density is influenced by the type of spatial arrangement and spatial organisation. In this way, the factors that influence the perception of density can be divided into two categories: mass configuration (housing units) and spatial configuration (the type of spacing between volumes).

2.4. Factors related to mass and residential units

Size of the house: The meaning and consequences of living in densely populated areas are different from the meaning of living in a house with a large number of people. This does not imply that one is more significant than the other, but these are different and cannot be

categorised as densely populated. The size of the house plays a crucial role in density perception. Residents who had less space per person had a more negative image of their home. This correlation between the feeling of confinement in the house and the overall perception of density is quite impressive (Zacharias & Stamps, 2004).

Neighborhood size: with similar densities in housing complexes, a single density can be experienced completely differently in large and small neighborhoods (Gifford, 2007). The different dimensions of the projects can also lead to a different experience and perception, despite the same residential density. In a situation where the complexes are very large and comprise a large number of units, the residents will feel uncomfortable. By dividing it into smaller, identifiable groups and categories, it appears less dense than it actually is (Gifford, 2007).

The size of the blocks: The length of the blocks and the number of intersections correlate strongly with the perception of density. Areas with smaller blocks and more intersections appear to have fewer units per block and are perceived as less dense, and the environment appears to be more favourable (Parra, Gomez, Pinzon, Brownson, & Millett, 2018).

Housing form: Different urban forms and different housing types create different perceived densities despite the same numerical density. The type of housing can have a symbolic effect on the perception of density, which also depends on the cultural context. Residential areas with detached houses indicate a low density. On the other hand, tall buildings with close spacing are symbols of high density due to the proximity of the dwellings to each other and the greater number of windows (Aurand, 2010).

Visual diversity: Visual diversity plays a lesser role in density perception than other factors. Physical features such as the distance between houses, front gardens, and the variety of house styles have a greater impact on perceived density compared to visual diversity. However, it should be borne in mind that repetition of similar views creates a sense of visual uniformity, and diversity in the design of blocks creates a lower perception of density (Bolton, 2021).

2.5. Factors related to space and spacing

The distance and height of buildings: The variety of architectural forms, the distance between volumes, and the height of buildings influences the perception of density and depends on how it manifests itself (Craje, Santello, & Gordon, 2013). are considered effective qualitative measures for the perception of density. Different arrangements can be created at the same density, resulting in different perceived densities. People who live in residential areas close to large open

spaces perceive their living environment as less dense because they have open views (Dave, 2011). Large distances between buildings create more privacy.

Visibility from inside the house: The distances between buildings affect the visibility from inside the house (visibility from inside to outside). Kearney (2006) has shown that a view of nature and a reduced view of the neighbours' houses can decrease the feeling of dissatisfaction with density. In other words, residents who have more views of the natural landscape and fewer views of other people's houses are less likely to feel a lack of privacy and less likely to complain about the distance between houses. This result suggests that good visibility can make high densities acceptable. Housing units should be oriented to maximise views of nature and minimise views of busy streets and neighbours' houses. The presence of trees and grasses evokes feelings that are quite different from the sight of other buildings and people. The feeling of openness in the interior space, which is considered one of the satisfaction factors of the residents, is achieved through the view of the green spaces outside. The absence of views of green spaces from the units does not contribute to the impression of density (Anastasiou & Manika, 2020).

Dominating view: Spacing between buildings affect the view of the surrounding area. In high-density residential complexes, the prevention of dominant views is an important factor for resident satisfaction. Maintaining privacy is achieved either by creating distance or by separating spaces from others. The mass spacing method can lead to a high perceived density. In residential units with large courtyards, open spaces provide the necessary distance to protect privacy. In high-density residential complexes, curtains, fences, barriers and walls protect private spaces from being seen (Sivam, Karuppannan, & Davis, 2012).

Organisation of public space: When designing public spaces, such as shopping facilities and children's playgrounds, the privacy of residential units should be separated from the privacy of public spaces that are used and needed by all people. Neglecting to properly organize the children's play area is linked to increased density. Even observing a modest number of children on the playground might evoke a sense of crowding or high density. The feeling of overcrowding intensifies when residents look for parking spaces. In a situation where the size of the spaces between units is appropriate and well designed but residents have no access to private open space, a sense of overcrowding and high density is likely to result. As density increases, it will be inevitable to lower standards and reduce social open space (Milanovi & Vasilevska, 2018).

Following the discussion in the literature review, the most significant factors of density in residential complexes that influence users' mental judgements

were explained from both mental and physical perspectives and classified into two main factors: A) space and spacing, and B) mass and residential units (Figure 2). These variables have been identified as the foundation of this study's conceptual framework. Based on this approach, questions in the form of a survey were created and evaluated throughout the study.

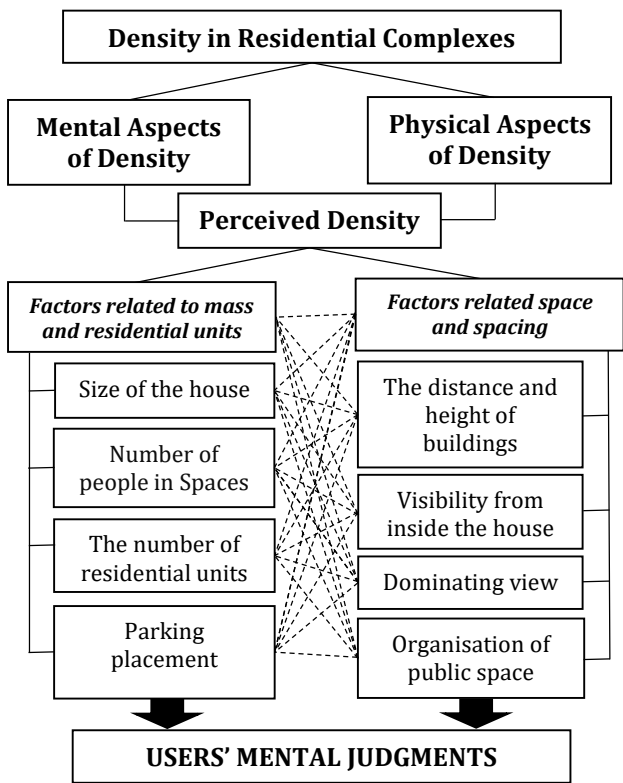


Figure 2. The Conceptual Model of the Study (Author).

3. Methodology

In this study, an exploratory factor analysis was used to identify factors that influence the perception of density (Figure 2). Factor analysis is a statistical technique that aims to simplify complex data sets. Four neighbourhoods of Karaj City, Iran, were selected to examine the study's conceptual model and investigate the effect of spatial configuration and the method of grouping housing units on the perception of density. The selected neighbourhoods were similar in housing density, population density, and socioeconomic location of residents but differentiated in terms of housing type and method of spatial arrangement. Since the change in density over time can significantly impact residents' perceptions, this was also considered when selecting the areas where the research was carried out. All participants were property owners who had lived in the neighborhood for more than five years. The data was collected through surveys, and field observations. In order to control for the effects of the intervening variables, the factors related to the characteristics of the neighborhood were also taken into account when

selecting the ranges (population density, location of the neighborhood, facilities and services, age of the neighborhood, permanence of residential use).

To design the survey, a comprehensive literature review on density was conducted and the associated criteria were extracted and classified. In this regard, books and studies on high-density buildings were collected and analysed, ranging from architectural design principles to sustainability standards and socioeconomic aspects. Documents were chosen to serve as the foundation for study, providing a rich tapestry of insights into the difficulties of high-density urban settings. Then, a coding scheme with a structured framework that serves as a guide for the analytical process was created. This scheme organized key themes and criteria for high-density buildings, facilitating methodical extraction of relevant data. Each source was thoroughly examined to provide precise information. This entailed reading between the lines, recognizing repeating trends, and merging various views to reveal the fundamental factors that influenced the creation of high-density structures. During the analysis, the retrieved criteria were thoroughly examined for relevance, application, and robustness. Finally, the findings were combined into a cohesive narrative, with important criteria drawn from the literature underlined. Accordingly, the target content tables were defined on the basis of the results obtained, and the content and items of the survey were formulated in consultation with experts in the field of research. The variables that played a role in the selection of the neighborhoods and in the formulation of the statements in the survey are described in Table 1. Finally, the data was collected using the survey with 44 statements and four-point Likert scale from 1 "strongly agree" to 4 "strongly disagree". Kline's correlation was used to estimate the sample size. With 44 items in the survey, the required sample size would be 190. To guarantee the accuracy of the instrument's application, a factor analysis using 220 surveys was performed. Of these, 200 were returned complete and in excellent condition, providing as the foundation for computations. Indeed, 200 residents (93 men and 107 women, average age = 41 years) of four neighborhoods (each neighborhood: n=50) were asked to participate via home visits. The survey was completed during the week and at different times of the day. Data collection took 4 days, and each survey took 6-8 minutes to complete.

Table 1. The Summary of Variables Used in Survey

Control	-Appropriate placement of public services
	-Community
	-Variety of land uses
Independent	-The arrangement of buildings and the number of buildings in the field

	of view.
	-Housing type.
	-Block sizes.
	-Residents' perception of their neighborhood in terms of crowding of buildings.
Dependent	-Residents' perception of their neighborhood in terms of crowding of people.
	-Residents' perception of their house size.
	View of other residential units.
	View from the inside to the outside.

The survey consisted of 26 items. Questions 1–3 addressed the issue of height and distance perception. In this context, the first question was addressed to analyze the relationship between building height and sensations of confinement, disorientation, and perplexity: *The height of the buildings in the residential complex where I live makes me feel cramped and bewildered.* The second question sought to assess the effect of building distribution on the provision of pleasant outdoor places for social interaction and children's play: *The spacing between the buildings has created appropriate open spaces for socializing and children's play.* The third question aimed to determine satisfaction with building distance in terms of perceptions of openness, freedom of movement, contribution to environmental aesthetics and livability, and allows for adequate natural light and ventilation in living spaces: *The buildings in the residential complex where I live are spaced appropriately apart, and I am satisfied with the distance between them.* Questions 4–6 covered the subject of viewing from inside to outside. In this regard, considering the determination of several qualitative aspects such as contentment with the view, emotional effect, connection to nature, impression of desirability, and everyday enjoyment, the following questions were posed: *The nice view of the outdoor environment is one of the things I value about my residence; My house's exterior areas are such that I tend to peek out the window at them; Only the opposing buildings can be seen from my house's windows.*

Questions 7-9 are designed to assess perceived dominance and visibility from the outside to the interior of high-density housing units. The primary qualitative qualities of these issues are privacy concerns, a sense of control, security, and comfort: *I feel less lonely if my neighbours gaze into my house; I frequently have the impression that my neighbours are peering into my home; It is critical to me that the house's windows are set in such a way that others cannot look in.* Related to the organization of green and public spaces, question 10 assesses whether people are comfortable strolling in the open spaces around their residential

complex. It seeks to collect views of accessibility and safety in these regions: *The open spaces of the neighborhood or the surrounding of the residential complex are such that I can walk in it calmly.* Question 11 focuses on the availability of open and green places inside the residential complex for people to unwind and relax. Its goal is to examine the availability of recreational facilities and their potential function in stress reduction: *My flat complex includes an open and green space where I can relax after a long day at work.*

Question 12 asks if people have views of open and green landscapes from their residences. It seeks to convey views of visual aesthetics and the incorporation of natural elements into residential settings: *From my house it is possible to see an open and green landscape.* Questions 13-15 were meant to examine several qualitative aspects of parking spots in high-density residential neighbourhoods. *Many automobiles are frequently parked on the street where I live.* This question aims to examine several qualitative aspects of parking spots in high-density housing zones. *Parking automobiles in my neighborhood's streets and open areas has generated congestion.* This question is on the potential consequences of parking cars on the neighborhood's streets and open spaces, such as congestion. It seeks to collect impressions of traffic effect and the amount of inconvenience caused by overcrowded parking lots. *If I don't want to park in the lot, I'll have to seek for a spot on the street for a long.* This question focuses on people's experiences looking for parking places on the street rather than in parking lots. It seeks to measure the time and effort necessary to locate a good parking place, emphasising the difficulties and frustrations connected with street parking.

Questions 16-19 intend to measure numerous qualitative features associated with the presence of people in common open spaces within high-density housing. In this context, *I'm not comfortable being outside the home because of the presence of unknown persons in open places and tunnels,* concerns people's comfort levels when they leave their houses because of the presence of strangers in public places. It seeks to capture sentiments of safety and comfort, emphasizing worries about encountering strangers in shared outdoor spaces. *The children's loudness has taken away my comfort,* and *The noise of passing cars is annoying,* discuss the effect of noise caused by children and passing automobiles on people's comfort levels. They intend to analyze citizens' views of noise pollution and the extent to which it disrupts their peace and tranquility in public settings. *Our neighbourhood has a high volume of foot activity,* emphasizes the volume of foot traffic in the neighborhood, suggesting congestion and human presence in public open places. It seeks to gather perceptions of how densely packed these locations are and whether inhabitants are

overwhelmed by the quantity of activity. Overall, these qualitative features are intended to give insights into how the quantity of people in shared open spaces influences people's perceptions, behaviours, and experiences in high-density housing regions. They discuss topics such as safety, noise levels, social dynamics, privacy, and environmental quality, which contribute to a thorough grasp of the issue.

In accordance with the number of housing units factor, three questions were considered. The first question asks if people believe that the large number of residents in the residential complex has affected families' peace and individual lives. It seeks to document views of community cohesiveness and how high-density living impacts inhabitants' feeling of peace and tranquillity: *Despite the vast number of inhabitants in this residential complex, the families' serenity and individual lives have not been disrupted.* The second (*I know the names of many of our block's or block's residents*) and third (*The number of residential units on the block is sufficient for me to know the majority of my neighbours*) questions are about people's acquaintance with their neighbours and the number of residential units in their block. They intend to examine how well inhabitants know their neighbours and feel linked to their surrounding community, emphasising the significance of social ties in high-density living conditions.

Questions 22-26 were designed related to the organisation of green and public spaces factor. The first question concerns people's impressions of their home's location and whether they think it's perfect. It seeks to collect subjective evaluations of the home environment, such as closeness to facilities, accessibility to transit, and general desirability: *My house's location is ideal.* The second and third questions address the availability of private places within the house where people can be alone and complete personal work. They seek to analyse the degree of privacy and autonomy provided by the living environment, which might impact residents' feeling of well-being and comfort: *At home, I have a private space where I can be alone, and I have a private room at home where I can easily accomplish my own work.* The fourth question investigates the role of economic constraints on people's housing decisions. It seeks to determine whether inhabitants regard their present living arrangement as a compromise owing to budgetary restrictions, which might affect their happiness with the home environment: *I only live in a residence of this size due to economic limitations.*

The SPSS software was used to calculate the acceptance coefficient, the purity coefficient, and the loop method. The purpose of this evaluation is to check the accuracy and inadequacy of the individual questions and to show the weaknesses, strengths, and validity of the survey. Based on these calculations, it was found that 12 out of

44 questions did not fit the topic and purpose of the survey due to ambiguity for the respondents. Therefore, these questions were removed from the analysis process. After they were removed, the reliability coefficient of the remaining 32 questions was calculated. Since Cronbach's alpha is 0.8, this results in a value of 0.89, an acceptable coefficient that demonstrates the validity of the survey. The exploratory factor analysis method was used to categorize the factors and determine the variables that influence the perception of density, with the aim of creating a general pattern among the variables. The factor loadings were used to identify the main variables.

4. Case Area

The capital of the province of Alborz, Karaj, is considered a major immigration hub in Iran. Hosting a population around 1.97 million, as recorded in the 2016 census, it is the fourth-largest city in Iran. Compared to other cities, its population is younger. The earliest records of Karaj date back to 30th century BC. The city was developed under the rule of the Safavid and Qajar dynasties and is home to historical buildings and memorials from those eras. Until the second half of the 20th century, it used to be known mainly as a summer resort. Today, it is a major industrial city, with factories. To investigate the users' perception and mental judgments related to high-density housing, four significant neighborhoods of Karaj —Azimiyeh, Owj, Baghestan, and Baraghan—were chosen. The selection of these residential districts was based on the variations in the urban context, neighbourhood size, date of settlement, and services offered.

The urban context criteria relate to the general surroundings and features of the urban region where the residential districts are located. In this context, factors like the level of development, variety of infrastructure, the presence of commercial or industrial zones, transportation networks, and the overall layout of the neighborhoods were taken into account. Variations in neighborhood size might have facilitated a more nuanced examination of urban design, spatial planning, and community dynamics in this study. By using neighborhood size as a criterion, the goal was to represent the varied variety of urban experiences and features seen in various-sized residential districts. The use of the criterion "date of settlement" for evaluating the impact of high-density housing on persons' cognitive judgments is critical. This criterion can be used to predict the psychological and behavioral effects of high-density housing reliably. For example, persons who live in densely crowded places for an extended length of time may face limits such as restricted space, noise, and congestion, as well as difficulties such as worry or higher stress levels. As a result, in the current study, attempts were made to identify neighborhoods

with both human activity and longer tenure, assuring a greater degree of antiquity and density. In addition, by assessing the variety and quality of amenities and services in neighborhoods, we can gain insight into how well high-density housing meets the diverse needs and preferences of its residents, informing urban planning and housing policies aimed at creating healthier and more livable communities. As a result, neighborhoods were chosen based on the availability of a diverse range of recreational amenities of variable quality. The typological diversity of selected neighborhoods is expected to reveal differences in levels of users' mental judgments. Their position inside the city is seen in Figure 3.

Owj neighborhood: The Owj neighbourhood is situated close to Alborz Mountain in the northern part of city. The Tehran-Karaj highway, boulevards, and metro station provide easy access to this neighbourhood. Along the main street in this neighbourhood are three- to four-story buildings and residential complexes. Its residential complex for families of military personnel is its major feature.

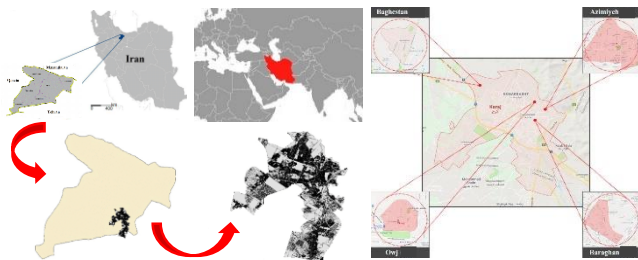


Figure 3. Location of the Neighborhoods in the City of Karaj, Alborz Province, Iran (Google Map).

Azimiyeh neighborhood: The neighborhood of Azimiyeh is situated northeast of Karaj. Its placement has resulted in uneven surfaces and a steep slope. Due to the neighborhood's consistent fairly good weather and the presence of several reliable water sources, it has long been regarded as one of the most desirable areas of Karaj to dwell. This neighborhood has seen a rise in population during the past few decades. Some of the local attractions are Nour Mountain, Karaj Baam, and a plethora of dining establishments.



Figure 5. The Palcement and General View of the Owj Neighborhoods in the City (Top view: Google Map; Fotographs: Author).

Baghestan neighborhood: Baghestan neighborhood is located in the north-west of Karaj, near to Atashgah village (one of the tourist spots). This area has been developed from the North and the West. Western Baghestan is one of the newly settled neighborhoods with the high rate of construction statistics and average-income residents. Due to the fact that this neighborhood is relatively new, a large number of segregated lands for residential use exist among residential blocks.

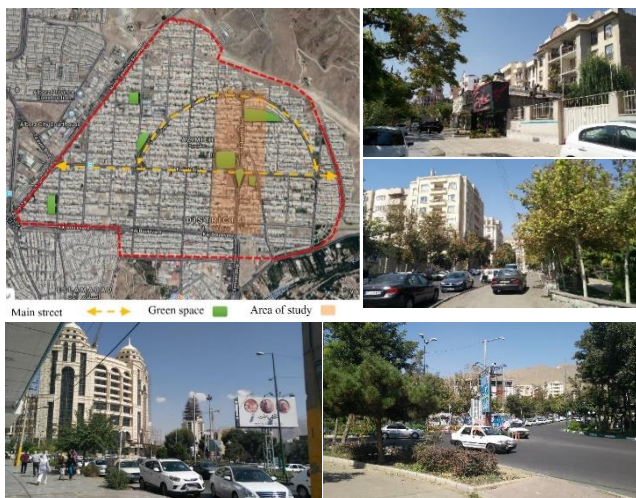


Figure 4. The Palcement and General View of the Azimiyeh Neighborhoods in the City (Top view: Google Map; Fotographs: Author).



Figure 6. The Palcement and General View of the Baghestan Neighborhoods in the City (Top view: Google Map; Fotographs: Author).

Baraghan neighborhood: Baraghan neighborhood is located in the center of the city. At the East, it is edged with Karaj Square, at the West is edged with Taleghani intersection, and at the North and the South is edged with Baraghan and Mazaheri streets, respectively. This neighborhood has irregular and organic urban context.

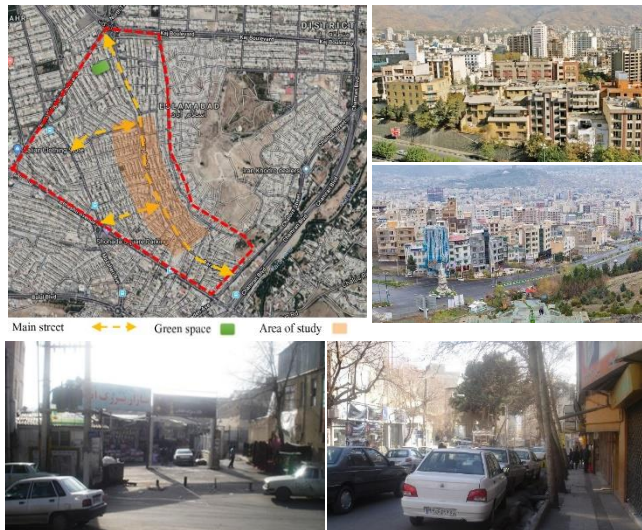


Figure 7. The Placement and General View of the Baraghan Neighborhoods in the City (Top view: Google Map; Photographs: Author).

5. Findings

In the diagnosis of each factor, the correlation coefficient was higher than 40%, and the results of the rotated matrix test were used as decision criteria. The test results showed that the examined issues can be summarised into eight factors (Table 2). Based on the explanatory variance associated with each of these factors, the factor of distance and height of buildings is the factor that respondents felt explained the most variance in the perception of density. But the sum of the first eight factors could explain 54% of the total variance in density perceptions. That is, if we assume that all minor problems mentioned in the survey account for 100% of the total variance in density perception, these eight categories, as baseline factors, may explain more than half of this variance, and all density perception difficulties can be reduced to eight variables.

Table 2. Factors and Explained Specific and Cumulative Variance Values Related to Each Factor

Factors	Explained Variance	
	Cumulative	Specific
Height and distance perception	12.78	13.34
View from inside to outside	9.41	19.58
Dominating view	7.71	21.22
Open and green space	9.32	27.74
Parking placement	5.96	33.65
Perception of the number of people in common open space	6.23	39.31
The number of residential units	7.01	37.65
House size	5.82	54.01

In the following, statements on each factor of the survey and some descriptive statistics (mean values, standard deviation, and standard deviation error) are presented in order to compare the neighborhoods investigated:

Factor 1 - The perception of the distance and height of buildings: The distance and height of buildings are actually influenced by the choice of house type and the way the mass is designed. According to the values obtained, in terms of height and distance, the Azimiyeh residential complexes are perceived better rather than the other three complexes (M=1.87, SD=0.66). In these complexes, the distance between the blocks is designed as an open space, and the skyline is varied (Table 3).

Table 3. Data Analysis for Distance and Height of Buildings Factor

Residential Complexes	M	SD
Azimiyeh	1.87	0.66
Owj	1.99	0.57
Baghestan	2.74	0.41
Baraghan	2.16	0.36

-The height of the buildings in the residential complex where I live makes me feel cramped and bewildered.

- The spacing between the buildings has created appropriate open spaces for socialising and children's play.

- The buildings in the residential complex where I live are spaced appropriately apart, and I am satisfied with the distance between them.

Factor 2 - The view from the inside to the outside of the housing unit: With regard to this factor, Azimiyeh complexes provide better visibility than the other complexes (M=1.75, SD=0.63) due to the attention paid to the defined open spaces, and most housing units have a relatively good view of the open spaces (Table 4).

Table 4. Data Analysis for Visibility from Inside the House Factor

Residential Complexes	M	SD
Azimiyeh	1.75	0.63
Owj	1.88	0.77
Baghestan	2.31	0.54
Baraghan	2.02	0.69

- The nice view of the outdoor environment is one of the things I value about my residence.
- My house's exterior areas are such that I tend to peek out the window at them.
- Only the opposing buildings can be seen from my house's windows.

Factor 3 - Dominating, and visibility from the outside to the inside of the housing units: Maintaining privacy, ensuring visual privacy, and preventing the aristocracy of housing units are important issues in the design of dense environments. The presence of open spaces in the Baghestan complex (M=1.81, SD=0.59), the size of the open spaces, and the way the buildings are placed and interact with the open spaces have overshadowed the view and aristocracy of the housing units towards each other (Table 5).

Table 5. Data Analysis for Visibility from Outside the House Factor

Residential Complexes	M	SD
Azimiyeh	2.84	0.77
Owj	2.10	0.63
Baghestan	1.81	0.59
Baraghan	2.37	0.71

- I feel less lonely if my neighbours gaze into my house.
- I frequently have the impression that my neighbours are peering into my home.
- It is critical to me that the house's windows are set in such a way that others cannot look in.

Factor 4 - The presence of open and green spaces: In both the Azimiyeh (M=1.44, SD=0.47) and Owj (M=1.45, SD=0.47) complexes, the presence of vegetation created better conditions, and residents rated them as more suitable (Table 6). It means that in addition to groomed open spaces, vegetation has an essential qualitative influence on the feeling of density. Qualitative factors of these two complexes are more important than quantitative factors. Green spaces between the buildings are seen through the windows of the residential units, and led to residents feel close to each other, which has an impact on the feeling of density.

Table 6. Data Analysis for Organisation of Green and Public Spaces Factor

Residential Complexes	M	SD
Azimiyeh	1.44	0.47
Owj	1.45	0.47
Baghestan	2.93	0.88
Baraghan	2.77	0.61

- The open spaces of the neighborhood or the surrounding of the residential complex are such that I can walk in it calmly.
- My flat complex includes an open and green space where I can relax after a long day at work.
- From my house it is possible to see an open and green landscape.

Factor 5 - Organisation of parking spaces: Cars, as a sign of the presence of people, can mean a dense environment. In both the Azimiyeh (M=2.79, SD=0.68) and Owj (M=2.76, SD=0.69) complexes, the car parks are arranged at ground level. However, one of the positive side in the Azimiyeh complex is the separation of pedestrian walkways and open spaces from the brideways. In the design of this complex, short vegetation was used to mark the boundaries of parking lots and walkways. Also, in contrast to the other three complexes, fewer cars are exposed due to the division of the parking lot into small groups (Table 7).

Table 7. Data Analysis for Parking Spaces Factor

Residential Complexes	M	SD
Azimiyeh	2.79	0.68
Owj	2.76	0.69
Baghestan	3.11	0.74
Baraghan	2.99	0.71

- Many automobiles are frequently parked on the street where I live.
- Parking automobiles in my neighborhood's streets and open areas has generated congestion.
- If I don't want to park in the lot, I'll have to seek for a spot on the street for a long.

Factor 6 - Perception of the number of people in common open spaces: A large number of people or signs of their presence, such as noise, can be associated with high density. According to the observations and statements of the residents, the open spaces in the Baraghan complex are less used (M=1.73, SD=0.64) due to the lack of attention paid to the design of the open spaces and are, in a sense, considered residual areas of building design (Table 8).

Table 8. Data Analysis for Number of People in Common Open Spaces Factor

Residential Complexes	M	SD
Azimiyeh	2.04	0.61
Owj	2.15	0.62
Baghestan	2.63	0.78
Baraghan	1.73	0.64

- I'm not comfortable being outside the home because of the presence of unknown persons in open places.
- The children's loudness has taken away my comfort.
- The noise of passing cars is annoying.
- Our neighbourhood has a high volume of foot activity.

Factor 7 - The number of housing units in each building: As mentioned in the literature, the perception of density includes both social and spatial aspects. The large number of housing units in each structure affects the number of social encounters between residents and can lead to a different assessment. In the Baraghan complex, there are fewer housing units in each structure, which justifies the favourable condition of this area compared to others. Table 9 shows that the Owj complex (M=2.00, SD=0.67), with 24 housing units per building, does not provide suitable conditions, and residents are dissatisfied.

Table 9. Data Analysis for the Number of Housing Units Factor

Residential Complexes	M	SD
Azimiyeh	2.44	0.57
Owj	2.00	0.67
Baghestan	3.18	0.68
Baraghan	2.27	0.61

- Despite the vast number of inhabitants in this residential complex, the families' serenity and individual lives have not been disrupted.
- I know the names of many of our block's or block's residents.
- The number of residential units on the block is sufficient for me to know the majority of my neighbours.

Factor 8 - House size: High housing density often goes hand in hand with small apartment sizes and little open space. The negative effects of inadequate housing and indoor overcrowding on health, social relationships, and loneliness are inevitable. Knowing the importance of cultural context, it is very important to consider the internal relationships between density, housing size, and quality of life. The average area available per person in Owj complex is lower in the top group (M=2.77, SD=0.57) than in the other areas, and this is consistent with the figures in Table 10.

Table 10. Data Analysis for Organisation of Green and Public Spaces Factor

Residential Complexes	M	SD
Azimiyeh	3.32	0.87
Owj	2.77	0.57
Baghestan	3.85	0.79
Baraghan	3.49	0.71

- My house's location is ideal.
- At home, I have a private space where I can be alone.
- I have a private room at home where I can easily accomplish my own work.
- I only live in a residence of this size due to economic limitations.

6. Discussion

One of the main aims of this study was to assess the visual significance of the external environment of the house for the inhabitants. The questions about the importance of the view of the external environment provided us with valuable information about the role of this aspect in the residents' experience of life. Based on the results of the first factor, it can be concluded that the open design in the Azimiyeh complexes as an architectural solution creates a sense of space and freedom for the residents beyond the provision of open space. This enables residents to take a closer look at the height and spacing of the buildings and to better understand and evaluate their living situation in general. The presence of changes in the skyline as one of the visual characteristics of the environment can give the region a special attraction and identity. These changes not only contribute to the diversity of vision but also have a direct impact on the residents' perceptions of the distance and height of the buildings.

Regarding the second factor of the research, it can be argued that the view from the inside to the outside is one of the most important features in the design of housing that has a direct impact on the residents' experience. A good view of the open spaces not only creates the feeling of an open and natural space but also helps to improve the mood and quality of life of the residents. The results showed that attention to open spaces in Azimiyeh complexes helps to provide a good view from the inside out. This can be achieved through the proper design and strategic location of these spaces. The units that paid attention to the proper design of open spaces were able to provide residents with the opportunity to enjoy the impressive views of the outside world. As for the other complexes, the results showed that the majority of residents are limited to looking only at the buildings in front of them. This may affect the residents' visual experience of their surroundings and indicate limitations in this area.

Regarding the analysis of the third factor, the results showed that the residential complex in Baghestan with

its open spaces, the appropriate size of these spaces, and the arrangement of the buildings with these spaces have a significant impact on the residents' experience of the residential environment. In other words, maintaining personal privacy and preventing unwanted visits from outside were significant factors that determined residents' attitudes towards their subjective judgements. It seems that these criteria can be considered the first principles of architecture in the design of dense residential buildings. The results showed that the fourth factor, the presence of open and green spaces, had an important effect on the subjective judgements of the residents in the Azaimiyeh and Owj complexes. The presence of plants and vegetables in these complexes created better conditions, and residents rated them as a more suitable environment. The presence of green spaces between the buildings, which can be seen from the windows of the residential units, has made the residents feel close to each other. This relationship seems to have a positive impact on the overall sense of community, reducing feelings of loneliness and strengthening social ties.

The results of the study of the fifth factor have shown that in the Azimiyeh and Owj complexes, the separation of walking paths and open spaces from parking lots is seen as positive. In the design of these complexes, small plants were used to delineate parking lots and walkways. Also, in contrast to the other three complexes, fewer cars are parked as the parking lot is divided into smaller groups. The emphasis on separating the pedestrian paths from the parking paths in these two complexes demonstrates order and organisation in the management of the parking areas. This link between tidiness and the sense of density of the living environment is an important point for designers and city administrators, which can help to improve the experience of residents in dense complexes. These measures not only contribute to the beauty and pleasantness of the environment but are also effective in reducing the negative impact of the presence of cars. With regard to the sixth factor, the results showed that the presence of too many people, noise, and the inappropriate use of open spaces cause discomfort among residents in the Berghan housing estate. From the questions asked of the residents, it is clear that the presence of unknown people in the open spaces made the residents uncomfortable. This can lead to a heightened sense of insecurity and fear among residents. Based on these findings, issues such as biological measures can be considered in the design of common areas and traffic routing to ensure that high-density housing complexes provide a peaceful and satisfying environment for residents.

The results for factor seven showed that housing density has various effects on residents' subjective assessments. For example, a residential complex with a lower density offers more favourable conditions for

residents than a complex with a higher density, which leads to positive thinking about the residential environment. According to the information received, it was found that with fewer units per building, the inhabitants of the Baraghan complex were able to get to know their neighbours better and socialise more. It can therefore be argued that the number of housing units in each housing complex plays an important role in shaping the social space. This information can help formulate appropriate measures to increase social connections and positive perceptions of density. Based on the results of the eighth factor, several aspects of the effects of housing density can be addressed. The small size of the dwellings and the lack of open spaces can lead to physical and psychological complications, such as feelings of confinement and anxiety. The following expresses the cultural significance in this context, as housing needs and preferences may be different in each culture. In addition, we can discuss the impact of housing density on quality of life. The data presented shows that a higher density in the peak complex provides less space for each person, which can have a negative impact on quality of life. This problem can also encompass other social and economic dimensions, such as the possibility of tensions and social disparities in high-density environments. In this context, solutions and suggestions are offered to improve housing conditions in high-density areas. This can include an appropriate urban planning policy, more green spaces, and the creation of suitable social spaces. Studying successful examples of cities or projects that have been successful with high-density housing can be inspiring. This can include innovative designs, sustainable strategies, and effective measures to improve the quality of life.

Generally, whatever found from findings can be summarized that the location, height, and interior design of residential units (which provide vision from inside to outside the house and domaining view) impact users' mental judgments. Furthermore, the data revealed that structural elements, housing type preferences, and the existence of public open spaces in complexes all influence how people perceive density in residential situations. It means that a complex interaction between the mental elements of density and its physical manifestations in residential contexts. Location appears as a key factor, with urban environments possibly eliciting sensations of crowding and congestion, whilst suburban or rural settings provide a sense of space and tranquillity. Similarly, the height of residential structures affects people' perceptions, with towering buildings possibly evoking feelings of confinement or elevation depending on floor level and views. Interior design is critical in influencing occupants' mental judgements, since intelligent spatial layouts and décor choices may either ease or worsen feelings of congestion and discomfort. Furthermore, the

spatial design of residential complexes, together with individual preferences for dwelling type, influences tenants' sense of density and personal space. Common open areas inside complexes are essential facilities that reduce feelings of confinement and promote social interaction, improving residents' general well-being. Overall, findings highlight the significance of holistic design methods that prioritise people' psychological comfort and quality of life in high-density living situations (Table 11).

Table 11. The Most Important Factors Affecting Users' Mental Judgments in High-Density Housing

Factors Affecting Mental Judgments	Perception of Density
Location	Physical features
Height	Preferences for housing type
Interior design	Public open spaces

It is worth noting that, while defining the scope and constraints of the study, specifying the selection criteria and briefly explaining their contribution to the study's objectives would be beneficial. In this regard, it should be noted that the findings may not be universally relevant due to variations in cultural norms, urban planning rules, and socioeconomic considerations between locations and people. While the study identified links between high-density living and mental judgements, determining causal relationships may be difficult owing to confounding variables such as individual variations, pre-existing mental health issues, and external stresses. Participants' replies to surveys or interviews may be impacted by social desirability bias or subjective interpretations of their experiences, which might undermine the data's dependability. External variables such as neighborhood safety, access to green areas, and community facilities may impact participants' mental judgments but are not explicitly addressed in the research design. By recognizing these scope and constraints, this study might successfully contribute to understanding the complicated interaction between high-density housing and users' mental judgments, delivering insights that could guide urban planning, housing policy, and public health treatments.

7. Conclusion

Density is an important concept in the design of residential environments and is directly related to subjective perception, the need for security, and the need for peace and privacy. Densification cannot be seen as a suitable solution for all areas or as a synonym for sustainability. This is because the acceptance of high-density living and its evaluation do not depend on the method used to calculate density, but on social and cultural conditions and vary from case to case. In

contrast to quantitative density, the concept of perceptual density refers to subjective and qualitative aspects such as expectations, ideas, attitudes, and the way people make judgements and evaluate the environment. The importance of this concept lies in the fact that, despite the increase in low densities, physical spaces can be designed in such a way that the perception of density is reduced. In this context, this article aimed to identify the factors that influence the perception of density and the subjective judgements made by residents.

To understand the impact of the planning method on the perception of density, four residential neighborhoods in the city of Karaj with similar net residential and population densities and the same socio-economic base of residents were selected, controlling for variables such as age and location of the neighborhood. The residents responded to the questions posed in a survey created for this purpose. In response to the first question of this study and by comparing the selected areas, the results show that although the criteria for measuring density are methods for controlling and familiarising oneself with the conditions of the residential environment, they influence the design method, perception, and experience of density, and that physical factors play an important role in this. In relation to the second research question, the total factors related to density perception were categorized into eight factors using exploratory factor analysis. These factors were able to explain more than half of the variance in density perception. These factors show that in residential environments of similar density, the choice of housing type and the way in which housing units are combined, as well as the type of spacing between masses, interact with the common space. Also, in response to the third question of the study, such finding revealed that typological diversity affects users' perception. And finally, the method of general design of the complex is one of the most important factors influencing the perception of density.

Overall, the current study addressed an important aspect of urban living: the effect of high-density housing on people's mental judgments. In this regard, the subtle link discovered between many environmental elements and mental impressions provides important insights into how people perceive and assess their living environments. To begin, the identification of location as a strong effect on mental judgments emphasizes the relevance of context in molding people's perspectives. Whether in a hectic city center or a calm suburban neighborhood, people's perceptions of their living circumstances are heavily influenced by their surroundings. Height, too, appears as a significant factor, with high buildings either creating emotions of imprisonment or elevation, depending on people' psychological inclinations.

Moreover, this study highlights the significance of interior design (providing visibility from inside to outside the house and domaining view) in influencing inhabitants' mental judgments. From spatial arrangement to aesthetic aspects, the interior setting has a considerable influence on tenants' sense of comfort and privacy. These findings, which elucidate the interaction between design decisions and mental judgements, might provide major direction for architects and urban planners seeking to build residential settings that promote pleasant psychological outcomes.

Furthermore, research into density perception revealed a complex connection driven by a variety of structural and environmental elements. Individuals' housing choices, for example, reflect their own spatial demands and lifestyle preferences, influencing their perceptions of density in residential surroundings. Another important component is the provision of common open spaces, which allow inhabitants to engage in social contact, relax, and feel a sense of community in the midst of high-density living. This study enriches our understanding of urban psychology by shedding light on the complicated interplay between environmental elements and mental judgements, as well as providing practical ideas for constructing more livable, sustainable, and psychologically supportive residential situations. In an era of rising urbanization and densification, the findings of this study are an important resource for creating future cities with human well-being at their center.

Acknowledgement

I express my heartfelt gratitude to all of the volunteers and participants who assisted me in carrying out this study.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmanın tümü yazarın 100% katkısıyla gerçekleştirilmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

References

- Ahlfeldt, G. M., Redding, S. J., Sturm, D. M., & Wolf, N. (2015). The economics of density: Evidence from the Berlin Wall. *ECONOMETRICA Journal of the Econometric Society*, 83(6), 2127-2189. <https://doi.org/10.3982/ECTA10876>
- Ahmadian, E., Sodagar, B., Mills, G., Byrd, H., Bingham, K., & Zolotas, A. (2019). Sustainable cities: The relationships between urban built forms and

density indicators. *Cities*, 95, 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.06.013>

- Anastasiou, E., & Manika, S. (2020). Perceptions, determinants and residential satisfaction from urban open spaces. *Open Journal of Social Sciences*, 8(6), 1-18. <https://doi.org/10.4236/jss.2020.86001>
- Aurand, A. (2010). Density, housing types and mixed land use: Smart tools for affordable housing?. *Urban Studies*, 47(5), 1015-1036. <https://doi.org/10.1177/0042098009353076>
- Biddulph, M. (2007). *Introduction to Residential Layout*. Amsterdam: Architectural Press. ISBN: 1136392122
- Bolton, L. T. (2021). Space ratio: A measure of density potentials in the built environment. *sustainable Cities and Society*, 75, 103356. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103356>
- Boyko, C. T., & Cooper, R. (2011). Clarifying and re-conceptualising density. *Progress in Planning*, 76(1), 1-61. <https://doi.org/10.1016/j.progress.2011.07.001>
- Cho, P., & Sawaki, M. (2007). Study on the neighborhood characteristics of high-density hillside areas through common space (A case study on an on-the-spot improvement program district of the housing environment amelioration program in Busan, Korea). *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 6(1), 111-118. <https://doi.org/10.3130/jaabe.6.111>
- Chokhachian, A., Perini, K., Giulini, S., & Auer, T. (2020). Urban performance and density: Generative study on interdependencies of urban form and environmental measures. *Sustainable Cities and Society*, 53, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101952>
- Crajé, C., Santello, M., & Gordon, A. M. (2013). Effects of visual cues of object density on perception and anticipatory control of dexterous manipulation. *PLOS ONE*, 8(10), 1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0076855>
- Csanady, P. (2019). Architectural space density – The effect of enclosure. *Symmetry Culture and Science*, 30(1): 43-58. <https://doi.org/10.26830/symmetry.2019.1.043>
- Dave, S. (2010). High urban densities in developing countries: A sustainable solution. *Built Environment*, 36(1), 9-27. <https://doi.org/10.2148/benv.36.1.9>

- Dave, S. (2011). Neighbourhood density and social sustainability in cities of developing countries. *Sustainable Development*, 19(3), 189-205. <https://doi.org/10.1002/sd.433>
- Ellis, J. G. (2004). Explaining residential density (Research & Debate). *Places*, 16(2), 34-43.
- Fisher-Gewirtzman, D. (2018). Perception of density by pedestrians on urban paths: an experiment in virtual reality. *Journal of Urban Design*, 23(5), 674-692. <https://doi.org/10.1080/13574809.2018.1444471>
- Gibson, S., & Law, L. (2023). Barriers and opportunities for medium-density housing in small, regional cities: stakeholder perspectives from Cairns. *Australian Planner*, 58(3-4), 95-109. <https://doi.org/10.1080/07293682.2023.2183225>
- Gifford, R. (2007). *Environmental Psychology: Principles and Practices* (4th Edition). Colville: Optimal books. ISBN: 0968854311
- Godoy-Shimizu, D., Steadman, P., & Evans, S. (2021). Density and morphology: from the building scale to the city scale. *Buildings and Cities*, 2(1), 92-113. <https://doi.org/10.5334/bc.83>
- Gomes, E. (2020). Sustainable population growth in low-density areas in a new technological era: Prospective thinking on how to support planning policies using complex spatial models. *Land*, 9(7), 1-14. <https://doi.org/10.3390/land9070221>
- Hur, M., Nasar, J. L., & Chun, B. (2010). Neighborhood satisfaction, physical and perceived naturalness and openness. *Journal of Environmental Psychology*, 30(1), 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2009.05.005>
- Jacobs, M. M., & Burch, A. E. (2023). Disparities in perceived physical and mental wellness: Relationships between social vulnerability, cardiovascular risk factor prevalence, and health behaviors among elderly US residents. *Journal of Primary Care & Community Health*, 14, 1-13. <https://doi.org/10.1177/21501319231163639>
- Kearney, A. R. (2006). Residential development patterns and neighborhood satisfaction: Impacts of density and nearby nature. *Journal of Environment and Behavior*, 38(1), 112-139. <https://doi.org/10.1177/0013916505277607>
- Kline, B. (2010). Principles and practice of equation modeling. 3th Ed. New York: Guilford Press. ISBN: 1606238760
- Kuddus, M. A., Tynan, E., & McBryde, E. (2020). Urbanization: A problem for the rich and the poor?. *Public Health Reviews*, 41(1), 1-4. <https://doi.org/10.1186/s40985-019-0116-0>
- Mangrio, E., & Zdravkovic, S. (2018). Crowded living and its association with mental ill-health among recently-arrived migrants in Sweden: A quantitative study. *BMC Research Notes*, 11(1), 1-5. <https://doi.org/10.1186/s13104-018-3718-6>
- Mellen, H. & Short, M. (2023). Designing for social interaction in high-density housing: A multiple case analysis of recently completed design-led developments in London. *Frontiers in Sustainable Cities*, 4, 1-56. <https://doi.org/10.3389/frsc.2022.1043701>
- Milanovi, D., & Vasilevska, L. (2018). Influence of private open spaces on the quality of living in low-rise high density housing. *Facta Universitatis-Series: Architecture and Civil Engineering*, 16, 293-305. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:115749699>
- Montgomery, C. (2013). *Happy City: Transforming Our Lives Through Urban Design* (Kindle Edition). New York: Farrar, Straus and Giroux. ISBN: 0374168237
- Parra, D. C., Gomez, L. F., Pinzon, J. D., Brownson, R. C., & Millett, C. (2018). Equity in cycle lane networks: examination of the distribution of the cycle lane network by socioeconomic index in Bogotá, Colombia. *Cities & Health*, 2(1), 60-68. <https://doi.org/10.1080/23748834.2018.1507068>
- Plane, D. A., & Mu, W. (2021). A people-based density perspective on physical/virtual world spaces in the microcosmic city. *Land Use Policy*, 111, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104462>
- Pons, F., Giroux, M., Mourali, M., & Zins, M. (2016). The relationship between density perceptions and satisfaction in the retail setting: Mediation and moderation effects. *Journal of Business Research*, 69(2), 1000-1007. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2015.09.005>
- Pont, M. B., & Haupt, P. (2007). The relation between urban form and density. *Urban Morphology*, 11(1), 62-65. <https://www.researchgate.net/publication/289714646>
- Raman, S. (2010). Designing a liveable compact city: Physical forms of city and social life in urban neighbourhoods. *Built Environment*, 36(1), 63-80. <https://www.jstor.org/stable/23289984>

- Sivam, A., Karuppanan, S., & Davis, M.C. (2012). Stakeholder's perception of residential density-a case study of Adelaide- Australia. *Journal of Housing and the Built Environment*, 27(4), 473-494. <https://doi.org/10.1007/s10901-011-9265-2>
- Tahvonen, O., & Airaksinen, M. (2018). Low-density housing in sustainable urban planning – Scaling down to private gardens by using the green infrastructure concept. *Land Use Policy*, 75, 478-485. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.017>
- Tu, K. J., & Lin, L. T. (2008). Evaluative structure of perceived residential environment quality in high-density and mixed-use urban settings: An exploratory study on Taipei City. *Landscape and Urban Planning*, 87(3), 157-171. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.05.009>
- Wen, L., Kenworthy, J., & Marinova, D. (2020). Higher density environments and the critical role of city streets as public open spaces. *Sustainability*, 12(21), 1-34. <https://doi.org/10.3390/su12218896>
- Zacharias, J., & Stamps, A. (2004). Perceived building density as a function of layout. *Perceptual and Motor Skills*, 98(3), 777-784. <https://doi.org/10.2466/pms.98.3.777-784>
- Zhang, K., & Yan, D. (2023). Exploring indoor and outdoor residential factors of high-density communities for promoting the housing development. *Sustainability*, 15(5), 1-18. <https://doi.org/10.3390/su15054452>

İSTANBUL'DA MİMARLARLIK BÜROLARINDA ÇALIŞAN MİMARLARIN ZAMAN YÖNETİMİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Ebrar SARAL¹, Esin KASAPOĞLU^{2*}

¹ Bağımsız Araştırmacı, İstanbul,

ORCID No: <https://orcid.org/0000.0002.1817.416X>

² İstanbul Kültür Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İstanbul,

ORCID No: <https://orcid.org/0000.0002.0530.1422>

Anahtar Kelimeler	Öz
Mimar Mimarlık Bürosu Mimari Tasarım Zaman Zaman Yönetimi	<p><i>Zaman, önemi her geçen gün daha çok artmakta olan bir kaynaktır. Karmaşık bir yapısı olan mimari tasarım sürecinin başarısı, projelerin istenilen sürede ve kalitede gerçekleşmesi bireylerin ve örgüt yöneticilerinin zamanlarını etkin bir şekilde yönetmesi ile mümkün olacaktır. Bu kapsamda bireylerin ve örgütlerin yıllar geçtikçe, zamanlarını daha etkili yönetmeyi öğrenecekleri düşüncesinden yola çıkılmıştır. Çalışmanın amacı, öncelikle mimarlık alanında faaliyet gösteren bürolarda, iş veren ve iş gören mimarların zaman yönetimi davranışlarının mimarların yaşı ve çalışma deneyimi ile mimarlık bürolarının faaliyet yılları arasındaki ilişkiyi ölçmektir. Sonrasında, mimarların zaman yönetimi değişkenlerinin birbirleriyle olan ilişkileri çerçevesinde, zaman yönetimi davranışlarının çözümlenmesi hedeflenmektedir. Bu kapsamda, zaman ve zaman yönetimi kavramları, mimarlık bürolarında zaman yönetimi ve zaman yönetimi değişkenleri ele alınmıştır. Zamanı planlama, zaman kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim zaman yönetimi değişkenleri olarak kabul edilmiştir. Yapılan kaynak taraması çerçevesinde mimarların zaman yönetimi davranışlarına yönelik dört varsayım geliştirilmiştir. Geliştirilen varsayımlar çerçevesinde, soru kağıdı farklı alanlarda yapılmış çalışmalarda kullanılmış örneklerden yola çıkılarak hazırlanmıştır. Araştırma kapsamında İstanbul'da faaliyet gösteren mimarlık bürolarında iş gören ve iş veren olarak çalışan mimarlar arasında zaman yönetimi davranışlarını ölçen bir anket çalışması yapılmış, yapılan çözümlenmeler sonrasında elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Yapılan istatistiksel çözümlenmeler sonucunda, yaş ve çalışma deneyimi ile zamandan tasarruf, büronun faaliyet yılının ise zaman kullanımı değişkeni ile ilişkisi olduğunu göstermektedir. Çalışmanın ikinci adımında yapılan çözümlenmeler, mimarların zaman yönetimi davranışları kendi içinde değerlendirildiğinde, değişkenler arasında yüksek ve çok yüksek düzeyde anlamlı ilişkiler olduğunu göstermektedir. Elde edilen bulgular varsayımları desteklemiş olmakla birlikte, mimarların projenin başarısında etkili zaman yönetiminin öneminin yeterince farkında olmadıklarını da göstermektedir.</i></p>

INVESTIGATION OF THE TIME MANAGEMENT BEHAVIOURS OF ARCHITECTS WORKING IN ARCHITECTURAL OFFICES IN ISTANBUL

Keywords	Abstract
Architect Architectural Office Architectural Design Time Time Management	<p><i>Time is a crucial asset, and its significance is increasing day by day. Architectural design process is complicated, and success of the of the projects, namely completing within the desired time and quality will be possible if individuals and organizations manage their time effectively. In this context, it is based on the idea that individuals and organizations will learn to manage their time effectively over the years. The aim of this study is, firstly, to measure the relationship between time management behaviors of employee and employer architects working in the architectural design offices and the age and working years of the architects, and the activity years of the architectural design offices. Secondly, it is aimed to analyze the time management behaviors of architects within the frame of the relationships between time management variables. For this purpose, the concepts of time and time management, time management in architectural design offices and time management variables are discussed. Time planning, time use, time saving, time traps and communication were accepted as time management variables. Within the</i></p>



Bu eser, Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) hükümlerine göre açık erişimli bir makedir.

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

framework of the literature review, four hypotheses were developed regarding the time management behaviors of architects and a questionnaire was prepared based on the examples used in studies conducted in different fields. Within the scope of this research, a survey was conducted with the prepared questionnaire to measure time management behaviors of employee and employer architects working in architectural offices in Istanbul, and after the analysis the results obtained were evaluated. As a result of the statistical analysis, it is found that age and working years of the architects are related with time saving variable, and the activity years of the offices are related with the time use variable. Secondly, following the analyzes show that there are high and very high-level significant relationships between the time management behaviors of architects. Although the findings support the hypothesizes, the results also show that architects are not sufficiently aware of the importance of effective time management for the success of the project.

Araştırma Makalesi

Başvuru Tarihi : 30.08.2023

Kabul Tarihi : 15.08.2024

Research Article

Submission Date : 30.08.2023

Accepted Date : 15.08.2024

* Sorumlu yazar: ekasapoglu@iku.edu.tr
<https://doi.org/10.31796/ogummf.1350848>

1. Giriş

Örgütlerin birbirleriyle olan rekabetlerinin her geçen gün daha çok arttığı günümüzde zaman en önemli kaynaklardan biridir. Zaman, ekonomik düzey açısından karşıt uçlarda olan iki kurum ya da bireyin mali güçleri, toplumsal ve coğrafi konumları çok farklı olsa da eşit yararlanma olanağına sahip oldukları tek kaynak olarak ön plana çıkmaktadır (Fidan, 2011). Öte yandan, zamanın üretim için gereksinim duyulan tüm girdilere baktığımızda, önemi anlaşılmalıyıp, gereği gibi yönetilemeyen tek etken olduğunu da söylemek mümkündür (Yılmaz ve Düşükcan, 2022). Zaman, örgütün temel bir boyutu olup, zaman yönetimi ise zamanın kişisel ya da örgütsel hedeflere ulaşmak için etkin ve verimli bir şekilde kullanma çabası olarak tanımlanabilir. Öte yandan, zaman yönetimini yalnızca örgütsel boyutta değil, örgütü oluşturan bireylerin de kendilerini denetlemesi olarak ele almak önemlidir. Başka bir anlatımla, zaman yönetimi kısa bir zamanda çok iş yapmak değil, işlerin belli bir zaman aralığında etkin bir biçimde yürütülmesi anlamına gelmektedir (Akyüz, Taşkın ve Aldemir, 2020). Hem bireysel hem de örgütsel olarak pek çok katkısı olan zaman yönetimi kavramı, bireylerin üzerindeki stres ve baskıyı azaltarak güdülenmeyi yükseltirken, örgütlerin başarımının artmasına da katkı sağlamaktadır (Küçükaltan, Karalar ve Keskin, 2013).

Mimarlık hizmetinin üretildiği yerler olan mimarlık büroları, yapı üretim sürecinin çeşitli aşamalarında yer alması ve diğer uzmanlık dalları ile eşgüdümlü bir çalışma sağlaması nedeniyle yapı endüstrisinde önemli bir rol üstlenmektedir (Erbil ve Akıncıtürk, 2010). Bu karmaşık yapı içerisinde projenin başarısı hedeflenen süre, kalite ve maliyet sınırları içerisinde kalarak tamamlanmasıyla sağlanmaktadır. Projenin

başarısını etkileyen kavramlardan biri olan zaman, etkili ve verimli kullanılması gereken önemli bir araçtır. Zaman yönetimi belli bir zaman dilimi içerisinde gerçekleşecek etkinlikleri yönetmek ve organize etmek için kullanılacak en uygun kavramdır (Örücü, Tikici ve Kanbur, 2007). Öte yandan, yaratıcılığı da içeren mimari tasarım sürecinin, projenin başarısı açısından mimarların etkili zaman yönetimi davranışları geliştirmeleri de önemlidir. Zampetakis, Bouranta ve Moustakis (2010), çalışmalarında bireylerin yaratıcılığının zaman yönetimi davranışları ile önemli ölçüde ilişkili olduğunu, yaratıcı düşüncelerin etkili bir şekilde kullanılması için zaman yönetimi davranışlarının gerekli olabileceğini ortaya koymuştur. Bu noktadan yola çıkarak, çalışma kapsamında, mimarların zaman yönetimi davranışlarının değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Bu doğrultuda mimarların yaşları ve deneyimlerinin zaman yönetimi davranışlarını etkilediği, öte yandan çalıştıkları örgütün faaliyet yılına bağlı olarak zaman yönetimi davranışlarının etkilendiği düşüncesinden yola çıkılmıştır. Çalışma kapsamında mimarların yaşı ve deneyimleri ile mimarlık bürolarının faaliyet yıllarının zaman yönetimi davranışları arasındaki ilişkilerin incelenmesi hedeflenmektedir. Öte yandan, mimarların zaman yönetimi davranışlarının kendi içinde birbiri ile olan ilişkilerinin incelenmesi de çalışmanın bir diğer amacını oluşturmaktadır. Bu kapsamda çeşitli istatistiksel çözümler kullanılarak söz konusu ilişkilerin irdelemesi yapılmıştır.

1.1. Zaman Yönetimi

Çağımızın küresel çekişme ortamı içinde işletmeler, rakiplerine üstünlük sağlayabilmek, etkin ve verimli bir şekilde çalışmak ve ayakta kalabilmek için, yenilikçi düşüncelere günümüzde daha fazla gereksinim

duymaktadır. Soyut bir kavram olan zaman, belli bir işi yaparken gereksinim duyulan vakti tanımlamaktadır (Demir, 2016). Çağdaş yönetim anlayışında, kaynaklar içerisinde önemli bir üretim etkeni olan zamanı verimli kullanabilmek, zamanı fark etmekten ve etkin bir yönetim yaklaşımı oluşturmaktan geçmektedir (Sainz, Ferrero ve Ugidos, 2019). Her şeyin değiştiği dünyada zamanın değişmeyen ve dönüştürülemeyen tek gerçek olduğu söylenebilir. Bu yüzden zamanın etkin ve doğru bir biçimde kullanılması hem kişisel hem de örgütsel başarıyı artırarak rakiplerin önüne geçilmesini sağlayacaktır (Akbolat, 2020).

Zamanı, gerçek, psikolojik, biyolojik ve yönetsel zaman olmak üzere algılama durumuna göre sınıflandırmak mümkündür. Nesnel zaman olarak da tanımlanan gerçek zaman, saat ile ölçülebilen zamandır. Gerçek zaman, herkes tarafından aynı algılanan kişilerin yaşantılarına göre değişiklik göstermeyen bir zaman türüdür. Öznel zaman olarak da adlandırılan ruhsal zaman ise, duyumsanan zamandır. Geçen sürenin kısa veya uzun olarak, saatin gösterdiği zamana bakılmaksızın algılanmasıdır. Bu nedenle kişiler için görecelidir. Gerçek zaman gibi kesin birimlerle ölçülemediği için anlaşılması zor bir kavramdır. Bir başka zaman türü olan biyolojik zaman ise gerçek zamandan farklı olarak canlıların iç dengesini sağlayan biyolojik bir ritimdir. Biyolojik zaman herkes için farklıdır. Her canlının bedenindeki organların, sistemlerin, işlevlerin kendi içindeki ritmi ve etkileşimidir. Yönetsel zaman ise bir amaç doğrultusunda bir araya gelmiş insanların hedeflerine ulaşmak için zamanı düzenlemeleridir. Zamanın etkin bir biçimde kullanılmasını sağlama sorumluluğu yöneticinin görevidir (Demirel ve Ramazanoğlu, 2005; Çelik, Şimşek ve Soysal, 2016).

Zamanı etkin kullanmak, bulunulan vakit içerisinde her dakikanın belli bir amaç doğrultusunda düzenlenmesi olarak tanımlanabilir (Akatay, 2003). Zamandan en iyi şekilde yararlanmak için yapılan her çaba hem iş yaşantısında hem de kişisel yaşantıda örgütlere ve bireylere büyük kazanımlar sağlayarak çekişme ortamı içerisindeki varlıklarını devam ettirmelerini sağlayacaktır (Özer, 2012). Zamanı etkin kullanmak daha çok iş yapmaktan ziyade zamanı akıllıca kullanarak çalışmak olduğu unutulmamalıdır (Tutar, 2020). Örgütler zamanla ilgili taktiklerini belirleyerek hızlı hareket ederek rakiplerine karşı üstünlük sağlayabilirler. Bunun yanında hızlı davranmak bir takım olumsuz durumlara da sebep olabileceği için önlemler alınması gerektiği de göz önünde bulundurulmalıdır.

İş yaşamında, başarının en önemli etkenlerinden biri olan zaman yönetimi, işgücü yoğun yöneticilerin zamanlarını düzenleyerek verimli bir şekilde kullanabilmelerine olanak vermek amacıyla Danimarka'da ortaya çıkıp, dünyaya yayılmıştır (Akatay,

2003; Koch, 1998). Geçip giden zamanı daha iyi kullanma düşüncesinden yola çıkılarak "Zaman Yönetimi" kavramına ulaşılmıştır (Örücü ve diğ., 2007). Bir eylemin gerçekleştiği, gerçekleşmekte olduğu ve gerçekleşeceği süre zaman (Kıral, 2014), hedeflenen başarıya ulaşmak için geçecek süreyi yönetme eylemi de zaman yönetimi olarak tanımlanmaktadır. Örgütün başarısı için hem iş gören hem de yöneticilerin zamanlarını başarılı bir biçimde yönetmesi yanında, etkili liderlik için de zaman yönetiminin önemi büyüktür (Sarfraz, 2017). Belli bir zaman aralığında gerçekleştirilmesi planlanan faaliyetleri yönetmek, zamanın nasıl kullanıldığını veya nasıl değerlendirilebileceğini ifade eden zaman yönetimi kavramı bir sonuç değil, öğrenilebilen bir süreçtir. Belirlenen hedefleri ve görevleri etkin bir biçimde yerine getirme, bu hedefler gerçekleşirken ki zamanlama ve sürecin kontrolü olarak düşünülebilir. Başlangıcı ve sonu belirlenen bir zaman aralığında bireyin veya örgütlerin belirledikleri hedeflerine, yapılması gereken iş ve eylemlerini, yeterli ve etkili bir biçimde gerçekleştirilmesine yönelik olarak her türlü kaynağın en verimli ve en etkin bir biçimde kullanılmasıdır (Türkel ve Leblebici, 2000). Zaman yönetimi, belirli görevleri, projeleri ve hedefleri gerçekleştirirken zamanı yönetmek için kullanılan bir dizi davranış, araç ve tekniği ifade etmektedir. Bu, geniş bir faaliyeti kapsamakta olup, planlamayı, hedefleri belirlemeyi, görevlendirmeyi, izlemeyi, örgütlemeyi, çizelgelemeyi ve önceliklendirmeyi içermektedir (Varga, 2011). Zaman yönetimi, kişilerin çalışma düzenleri içerisinde gereksiz işleri ayırmayı, verimi arttırmayı, öncelikli işlere daha fazla zaman ayırabilmeyi, vakit alacak işlerin daha kısa zamanda tamamlamayı ve var olunan zaman içerisinde işlerin daha nitelikli yapılmasını sağlamaktadır (Karatepe, Yüce ve Yıldırım, 2020).

Zaman yönetimi, "belirli amaca yönelik faaliyetleri gerçekleştirirken zamanı etkili bir şekilde kullanmayı amaçlayan" davranışlar anlamına gelmektedir (Grissom, Loeb ve Mitani, 2015; Claessens, van Erde, Rutte ve Roe, 2007). İnsanların zamanı yönetebilmeleri için öncelikle kendilerini yönetebilmeyi bilmeleri gerekmektedir (Eroğlu ve Bayrak, 1994). Kendini yönetebilen bir kişi zamanı etkin kullanabilmek ve uygulayabilmek için birtakım davranışlar ve teknikler geliştirebilen kişilerdir (Reunanen, Windahl ve Vanharanta, 2016). Kişiler zamanlarını yönetebilmek için kendisini zaman açısından olumsuz olarak etkileyen davranışları değerlendirip bu davranışları yapmaktan kaçınmalıdır. Kendisini olumsuz olarak etkileyen bu davranışlardan uzak kalabilen kişiler zamanı etkin olarak kullanabileceklerdir (Erdem ve Kaya, 1998). Zamanın verimli bir şekilde kullanılmasının bireyler ve örgütler üzerinde pek çok yararı bulunmaktadır. İyi yönetilen zaman, örgütlerde verimliliği ve kaliteyi arttıracaktır. Zamanın yetersizliğinin kişiler üzerinde oluşturduğu

gerilim gibi olumsuz baskılar zamanın iyi bir şekilde kullanılmasyla önlenebilmektedir. Böylece, zamandan kaynaklanan baskıların önüne geçilerek kişilerin iş ve özel hayatlarında kazandıkları enerji ve zaman ile tutarlı bir yaşama ulaşma olanağı doğacaktır. Zamanın iyi bir şekilde sürdürülmesiyle örgütlerde oluşan kargaşa ve zaman kayıplarının önüne geçilecektir (Örücü ve diğ., 2007). İş hayatında zamanın verimli bir şekilde yönetilmesi, iş yükünün yaratmış olduğu baskı ve güçlükleri hafifleterek başarıya ulaşılmasına katkı sağlayacaktır. Kişiler, belirlenen zaman aralığında daha çok ve hızlı iş yapabilmeye yetenekleri sayesinde, daha çok iş tamamlayarak yapılması gereken işler daha hızlı bir şekilde tamamlanacaktır. Örgütlerde belirlenen faaliyetlerin başlama ve bitirme zamanlarının kısaltılması ile rekabet ortamı içerisinde üstünlük sağlanabilecektir.

1.2. Mimarlık Bürolarında Zaman Yönetimi

Mimarlık büroları, hizmet üretmeleri yanında, yaratıcılık içeren profesyonel örgütler olması bakımından diğer ticari örgütlerden ayrılmaktadır. Bu kapsamda, çalışanların özellikleri ile sunulan hizmetin kalitesi arasındaki ilişkinin kurgulanmasında zaman zaman önemli sorunlar ortaya çıkmaktadır (Winch ve Schneider, 1993). Öte yandan mimarlık büroları çalışanlarının ağırlıklı olarak mimarlardan oluştuğu, iş verenlerin birden fazla kişiden olabileceği gibi tek bir iş verenin de söz konusu olabileceği örgütlerdir. Tasarım sürecinin karmaşık yapısı ve uzun zaman alması nedeniyle, mimarlık bürolarında gerçekleştirilen projelerin zamanında bitirilmesi amacıyla gerçekleştirilen etkinliklerin yönetimi, etkili bir zaman yönetimi ile mümkün olmaktadır. Diğer taraftan, sürecin yaratıcılık içermesi, diğer işlere göre daha fazla zamana gerek duyulması anlamına da gelebilmektedir (Andrews, 1996). Kısıtlı bir zaman aralığında gerçekleştirilen projelerin başarılı olabilmesi için örgüt ve örgütte çalışanlar zaman etkenini göz önünde bulundurmalıdır. İstenilen sürede ve kalitede yapı üretiminin gerçekleşmesi için zamanın etkin bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Örgütsel boyutuyla bakıldığında zaman yönetimi, kurumların rakiplerini geçebilmek, varlıklarının devamlılığını sağlayabilmek için öğrenmeleri ve etkin biçimde uygulamaları gereken bir yaklaşımdır (Akyüz vd., 2015). Bunun için öncelikle örgütte bulunan her kişinin zamanı verimli bir şekilde kullanmaları gerekmektedir. Bu noktada, iş veren grubu ya da iş verenin zaman yönetimi yaklaşımı da bireylerin zaman yönetimi davranışlarını etkileyebilecektir. Plansızlık, erteleme, önceliklerin belirlenmemesi, ayrıntıcılık, yanlış kararlar almak, kararsızlık, gereksiz işler ve hayır diyememek gibi zaman kaybına sebep olan durumlar mimarlık bürolarında da söz konusudur. Bu durumlar tespit edilerek her örgüt kendi iç yapısına uygun davranış ve teknikler geliştirerek zamanı verimli bir şekilde kullanabilecektir. Bu sebeple mimarlık

bürolarında etkili bir planlama ve uygulama yapılması, uygun çalışma ortamının sağlanması, işten kaynaklı gerginlik ve baskının azaltılması gibi önlemler alınarak etkili bir zaman yönetimi gerçekleştirilebilir (Yılmaz ve Aslan, 2002).

Mimarlık bürolarının başarıları büroda faaliyet gösteren kişilerin zamandan ne kadar iyi yararlanabileceklerine bağlıdır. Hedeflerin gerçekleştirilebilmesi ve rakiplerin önüne geçilebilmesi için hem örgütsel hem de kişisel zaman yönetimi davranışlarının üzerinde durmaları gerekmektedir (Elmezaini, 2015). Bu noktada, zaman yönetimi örgütsel ya da bireysel hangi boyutta olursa olsun bütüncül bir yaklaşım gerektiren çapraşık bir konudur. Bireysel zaman yönetimi davranışları, örgütü yönetenlerin zaman yönetimi anlayışından etkilenebilecektir. Mimarlık bürolarında, diğer örgütlerden farklılık gösterebilmek ve rekabet edebilmek için zaman kaynağı olabildiğince iyi biçimde yönetilerek her saniyeden en yüksek yarar sağlanmalıdır (Akyüz ve diğ., 2015). Yöneticiler, örgütsel olarak zamanı etkili yönetmek için, proje ekibi üyelerinin bireysel zaman yönetimi davranışlarına dikkat ederse, projelerin yönetimi kolaylaşacak ve ekip zamanlama çatışmalarıyla baş etmek, proje son teslim tarihleri kayarken ekibin zaman baskısını azaltmak ve hatta diğer sorunları çözmek daha kolay olacaktır. Kapsamlı proje planlaması ve zamanlaması ile etkili bir şekilde iletişim kurarak ekip çatışmalarını giderir. Bu nedenle, proje yöneticileri için proje ekibindeki her bir üyenin zaman yönetimi davranışlarını daha derinlemesine anlamak projenin başarılı bir biçimde tamamlanması için önemlidir (Wu ve Passerini, 2013). Akdemir ve İnal (2022) tarafından yürütülmüş olup pandemi sürecindeki zaman yönetimi ve çalışan başarısını değerlendiren çalışmanın bulgularını mimarlık büroları çerçevesinde de değerlendirmek mümkün olup, zamanın nasıl planlanacağı, örgütlerin önceliklerinin belirlenmesi, dış unsurları yönetme gibi zaman yönetimi yaklaşımlarını mimarlık bürolarının başarımı açısından da değerlendirmek mümkündür. Zamanın etkin ve verimli bir şekilde yönetilebilmesi ile mimarlık bürolarının karmaşık yapısı içerisinde örgütün hedeflerine ulaşılabilmesi mümkün olacaktır. Tüm bu zaman yönetimi değişkenlerinin dikkate alınarak uygulanmasıyla hem kişisel hem de örgütsel olarak başarıya ulaşılması mümkündür.

Mimarların zaman yönetimi davranışlarının incelendiği bu çalışmada zaman yönetimi beş alt boyut açısından değerlendirilmiştir. Bu değişkenler, zamanı planlama, zamanın kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları, iletişim şeklindedir.

1.2.1. Zamanı Planlama

Örgütlerde, işlerin verimli bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için planlı davranmasına gereksinim duyulmaktadır (Özer, 2012). Zaman

yönetiminin başarılı bir biçimde yürütülebilmesinin ilk koşulu iyi bir planlama yapmaktır (Fitsimmons, 2008). Zaman kaybına neden olan en önemli nedenlerden birisi plansızlıktır. Plansızlık zamanın yanında aynı zamanda para kaybına da sebep olmaktadır. Çoğu zaman kişiler plan yapmak için vakit olmadığı ve kısıtlayan bir eylem olduğu gerekçesiyle planlama adımını göz ardı etmektedir. Düşünülenin aksine planlama yapılacak işler için gereken zamanı kısaltan bir eylemdir. Plansızlık beraberinde başarısızlığı da getirmektedir. Bu sebeple örgütlerde başarının sağlanması için zamanı planlamanın yararlarını anlamak gerekmektedir (Akatay, 2003). Zamanın etkili bir şekilde planlanmasıyla hedefler daha ulaşılabilir bir hal alacak ve verimlilik artacaktır (Yenihan ve Öner, 2013). Öte yandan, örgütü yönetenlerin plansızlığı, kişilerin plansızlığına da neden olabilmektedir. Zamanı yönetme de önemli unsurlardan birisi de yapılacak işlere ne kadar zaman ayrılacağı ve işlerin önceliğinin belirlenmesidir. Birçok insanın, zaman yönetimi ile ilgili en önemli sorunlarından biri birinci derecede olmayan işlere ön planda yer vermeleri (Bayrak ve Eroğlu, 1994) olup, bu davranışlar örgütü yönetenlerin zamanı planlama yaklaşımı nedeniyle de ortaya çıkabilmektedir. Önceliklerin belirlenmesi ve buna göre sıralanması ciddi bir zaman yönetimi gerektirmektedir. Hangi işe ne kadar vakit ayrılacağı belirlenmemesi ise plansızlığın bir sonucudur. Öncelikler belirlenip sıralanırsa zaman daha etkin ve sistemli bir şekilde kullanılabilir (Erdem ve Kaya, 1998).

Zamanı planlamanın iki önemli yararı bulunmaktadır. Birincisi, hedeflere nasıl ulaşılacağına dair yol göstermektedir. İkinci olarak, bu yolda gereksinim duyulabilecek kaynakların belirlenmesini sağlamaktadır (Durmaz, Hüseyinli ve Güçlü, 2016). Zaman planlamasının uygulanmasında başarılı olmak için zor işlerden kolay doğru yapmak, bir işi tamamlamadan diğerine geçmemek, yaratıcılık gerektiren işler için zaman ayırmak, sıradan işlerden kaçınmak, ayrıntılara takılmamak, uygun çalışma saatlerini belirlemek, toplantıları belli bir zaman ile sınırlamak, iş paylaşımı yapmak gibi durumlar göz önünde bulundurulmalıdır (Güçlü, 2001). Başarılı bir planlama için ilk olarak amaçların ve hedeflerin belirlenmesi gerekmektedir. Belirlenen hedefler doğrultusunda yapılacak işler önceliklerine göre sınıflandırılmalıdır. Bu noktada yapılması gereken iş için en uygun zamanı, işi aksatmayacak şekilde, kişilerin kendilerine göre belirlemesi de verimi arttıracaktır. Zor işlerin kişinin güdülenmesinin yüksek olduğu zaman diliminde yapılması gibi bir sıralama yapılması söz konusu olabilir (Erdem ve Kaya, 1998).

1.2.2. Zaman Kullanımı

Kişilerin zamanın etkin kullanımının bilincinde olarak yapılması gerekenlerin gerçekleştirilmesine karşı davranış ve tutumların ölçülmesini ifade etmektedir.

Detaylarda kaybolmak kadar iş üzerinde düşünmeden hızlı karar vermekte zamanı yönetmeyi olumsuz etkilemektedir. Acele verilmiş kararlar yanlış yapmaya, yapılması gereken işin hedeflerinden sapmaya ve sonuca ulaşmak için gereken zamanın uzamasına sebep olabilmektedir. Kişiler işlerini belli bir plan doğrultusunda yaparlarsa hızlı ve yanlış karar vermenin önüne geçilebilmektedir (Erdem ve Kaya, 1998).

Belli bir konuda üzerinde uzmanlık gerektirmeyen herkes tarafından yapılabilecek işler sıradan iş olarak tanımlanmaktadır. Başkaları tarafından yapılabilecek işleri kişilerin kendileri yapıyor olması ve öncelikli olan işe vakit ayrılmaması ciddi zaman kayıplarına sebep olmaktadır. Bu noktada, çalışanların bireysel olarak zamanı nasıl kullandığı yanında, örgüt yöneticilerinin zamanın kullanımına yönelik tercihleri de bireylerin zaman kullanımını etkileyebilmektedir. Önceliği olmayan önemsiz ve sıradan işleri kusursuz bir şekilde bitirme amacı gütmek işlerin zamanında bitirilmesinin önüne geçmektedir. Gereksiz işler için bir sistem oluşturulup planlanırsa bunun için daha az zaman harcanarak zamandan tasarruf edilebilmektedir (Öztürk ve Yıldırım, 2018). Örgütlerde iş akışının sağlanmasında toplantıların önemi büyüktür. Bununla beraber iş görenlerin zamanlarının büyük bir kısmını toplantılar ile geçirmesi zaman açısından büyük kayıplara sebep olmaktadır. Yöneticiler toplantı planlamadan önce bunun gerekli olup olmayacağı düşünüp gereksiz toplantı yapılmasının önüne geçmelidir. Bunun yanı sıra, toplantılara örgütte faaliyet gösteren kişilerin tümünün katılmasının gerekli olup olmadığı da işlerin devam ettirilebilmesi açısından düşünülmelidir (Adair, 2018). Örgüt içinde yapılan toplantılardan kaynaklanan zaman kayıplarının önüne geçmek için toplantı gündemi önceden kararlaştırılıp ilgili kişilere toplantı zamanı bildirilmelidir. Toplantıların belirtilen zaman aralığında kesintiye uğramadan devam edilmesi sağlanmalıdır (Demirel ve Ramazanoğlu, 2005).

Yönetici ve iş görenler çalışma esnasında birçok nedenden ötürü sık sık kesintiye uğramaktadır. Bu durumları ortadan kaldırmak için kişisel görüşmelerin iş saatleri dışında yapılmasına ve işle ilgili görüşmelerin de kısa tutulmasına, kuruma gelen ziyaretçilerin randevu oluşturularak kabul edilmesine ve randevuların uzun tutulmamasına, işlerin yapılmasını engelleyecek durumlarda kişilerin "hayır" diyebilmeye özen göstermesi gerekmektedir. Böylece örgüt içerisinde oluşabilecek zaman kayıplarının önüne geçilip verimli bir çalışma ortamı sağlanacaktır (Erdem ve Kaya, 1998).

1.2.3. Zamandan Tasarruf

Örgüt tarafından sunulan olanaklar (çalışma ortamı, teknoloji, yetersiz personel, gergin ortam gibi) doğrultusunda kişilerin zamandan tasarruf edilmesine

ilişkin davranış ve tutumlarının ölçülmesini ifade etmektedir. Gerginlik ve zaman baskısı, teknolojiden yeterince faydalanamamak, çalışan sayısının yetersiz olması, iş tanımlarının yetersiz olması zamanın etkin kullanılmasının önünde büyük engeller oluşturmaktadır. Zamanın etkin kullanılması için bu olumsuz durumların giderilmesi gerekmektedir. Birçok insan yaptığı işte en iyi olmak ister. Bu en iyi olma çabası sırasında kişiler, yapılan işlerde gerektiğinden fazla enerji sarf ederek zamanı boşa harcamaktadır. Ayrıntılara önem vermek iyi bir şey gibi görünse de her işte ayrıntılara takılmak zaman kaybına sebep olacaktır (Sabuncuoğlu ve Paşa, 2002). Gereksiz konularda ayrıntılarda kaybolmak önemli işlere ayrılması gereken zamandan çalmaktadır (Öztürk ve Yıldırım, 2018).

Zamanı kontrol altına almak için çalışanların, şimdiki durumda zamanın nasıl kullanıldığını, zaman ile ilgili sorunlarını belirlemesi gerekmektedir. İş günü başladığında listelenmiş işler sırasıyla yapılmalı ve her işe ayrılan süre not edilmelidir. Aynı zamanda gün içerisinde liste dışında yapılan işlerde ayrılan süreleriyle birlikte kaydedilmelidir. Gün sonunda listelenen işlerin ne kadarının gerçekleştirildiği çözümlenerek zamanın verimliliği hesaplanmalıdır. Kişiler yaptıkları inceleme ile zamanı nasıl kullandığını belirleyip, eksikliklerini gidererek bir sonraki iş günü için daha bilinçli bir şekilde zamanlarını yönetebileceklerdir (Akatay, 2003).

Zamandan tasarruf sağlanması için, örgüt yöneticilerinin de bireylerin bu yöndeki davranışlarını destekleyici bir eğilim göstermesi önemlidir. Görev tanımlarının doğru bir şekilde yapılması, kişilerin yetkinlik ve birikimine göre sorumluluklarının aktarılması gerekmektedir. Etkin görev dağılımında amaç, kişilere işleri ve projeleri yürütebilmeleri için gerekli yetkeyi vermektir (Vatan ve Özsoy, 2002). Örgütte bulunan yönetici ve iş görenlerin kendi uzmanlık alanlarına uygun bir şekilde yetkilendirilmesi zaman kaybını azaltacaktır. Kişilerin yetkinliğine ve yeteneğine uygun olmayan görevlendirme işlerin zamanın yapılmasına engel olacak, beraberinde büyük sorunlara neden olacaktır. Bu sebeple örgütlerde görev tanımlarının doğru bir şekilde yapılması büyük önem taşımaktadır.

Yetki devri, bir iş konusunda bir kişiye güvenerek o işi gerçekleştirebilmesi için idari gücü vermek demektir (Adair, 2018). Yöneticilerin zamanını öncelikli işlere ayırabilmesi için başkaları tarafından yapılabilecek birtakım işleri devretmeleri gerekmektedir. Böylece kurum için daha yararlı olacak işlere geniş zaman ayırabilecektir. Örgütlerde, yöneticilerin birçok konuda kararlar almaları gerekmektedir fakat her bir kararı tek başına uygulamaları güçtür. İş görenler tarafından da gerçekleştirilebilecek işler yöneticiler tarafından astlarına devredilmesi işlerin aksamadan yürütülmesini sağlayacaktır.

1.2.4. Zaman Tuzakları

Zaman yönetiminin temelinde zaman tuzaklarının önüne geçme amacı güdülmektedir. Zaman kaybına neden olan etkenler zaman tuzakları olarak adlandırılmaktadır. Zaman tuzakları, zamanı etkin kullanma karşısındaki engeller olarak tanımlanmaktadır (Güçlü, 2001). Zaman kaybettiren durumlar bireylerin kendilerinden ya da dış etkenlerden kaynaklanmaktadır. Etkili bir zaman yönetimi için kişilerin zaman tuzaklarının farkında olması önemlidir (Bayramlı, 2017). Zaman tuzaklarının önüne geçecek önlemler alınmasıyla etkin bir zaman yönetimi sağlanacaktır (Latif, Fidan ve Uçkun, 2004). Kişiler, zamanı etkili kullanmak için çaba göstermezlerse zaman tuzaklarına düşmeleri kaçınılmaz olacaktır (Yenihan ve Öner, 2013). Zaman tuzakları, plansızlık, ertelemek, öncelikleri belirleyememek ve sıralayamamak, ayrıntıcılık, hızlı ve hatalı karar vermek, kararsızlık, gereksiz işler, hayır diyememek gibi etkenler, zamanı verimli bir şekilde değerlendirmenin önündeki engellerdir (Öztürk ve Yıldırım, 2018).

Ertelemek, kişilerin kendilerini aldatmalarının bir sonucudur. Önceliği olmayan işlere vakit ayrılarak gerekli olan işleri arka plana atılmaktadır (Sabuncuoğlu ve Paşa, 2002). Bir işi başka bir zamana ertelemek, hedeflere ulaşmayı engellerken kişiler üzerindeki baskı ve gerilimi arttırmakta, saygınlığın azalmasına neden olmaktadır. Yapılacak işi tanımlayamamak ve yanlış bilgiler edinmek, işlerin önceliğini belirleyememek, işe güdülenme, başarısız olma korkusu gibi pek çok etmen ertelemeye neden olmaktadır. Ertelemek sürekli hale gelirse, kişilerde oluşan zaman baskısı ile çalışma ortamında gerginliğe yol açarak, işlerin son ana kalmasının getirdiği beklenmedik durumlarla karşı karşıya kalınmasını da kaçınılmaz hale getirebilecektir. Bu durumun önüne geçmek için yapılacak işin iyi kavranması, önceliklerin bir liste haline getirilmesi, zor ve sıkıcı işlerin önce tamamlanması ve işi bitirmek için teslim tarihi belirlemek gibi önlemler alınabilir (Efil, 2015; Yılmaz, 2015).

Karar vermek, işle ilgili sorunları gidermek, kullanılacak kaynakların verimli bir şekilde dağılımını sağlamak gibi etkinliklerin tanımlanmasıdır. Kararsızlık, bireylerin yapmakta oldukları iş ya da çözmeye çalıştıkları sorun ile ilgili yeterli bilgiye sahip olmamasından kaynaklanmaktadır (Bayramlı, 2017). Kişiler, işle ilgili tüm seçenekleri belirlemek ve değerlendirmek için geniş bir zaman istemektedirler fakat bu her zaman mümkün olmamaktadır. Kararlar kısıtlı bir zaman aralığında alınmaktadır. Seçeneklerin yetersiz ve belirsiz oluşu, hedefler ve beklentilerin net olmayışı, riskli seçenekler arasından seçim yapılması gibi pek çok sebepten ötürü kararsız kalınabilen durumlar ortaya çıkabilmektedir. Bir iş için verilmesi gereken kararları ertelemek ve şüpheye düşmek çalışmalarını olumsuz

olarak etkilemektedir. Kararsızlık süreci hedeflere ulaşmada daha fazla kaynak kullanımı ve ek zaman gereksinimi doğacaktır.

Kişilerin her zaman ulaşılabilir durumda olması plansız ziyaretçilere açık durumda olması yani başkalarından gelen ve çalışmayı engelleyen çağrılara hayır diyememe anlamını taşımaktadır (Dağlı, 2000). Planlı olmayan görüşmeler, kişilerin zamanlarından çalarak yapılması gereken işlerden alıkoyacaktır. Bununla beraber kişilerin kendi yapması gereken işler yerine hayır denilemeyen işleri üzerine almış olması zaman kaybına sebep olacaktır. Hem mevcutta yapılan işe hem de hayır denilemeyen işe yeterli vakit ayıramayacağı için istenilen sonuç ve verim elde edilemeyecektir (Demir, 2016).

1.2.5. İletişim

İletişim araçlarının etkin kullanımının ve kişilerin birbirleriyle olan etkin iletişimlerinin zaman yönetimine etkisine karşı kişilerin davranış ve tutumların ölçülmesini ifade etmektedir. Örgütlerde yapılan planlamaların uygulamaya geçirilebilmesi için kişilerin birbirleriyle etkin bir iletişim içerisinde olmaları, zaman kaybının önüne geçerek zamanın etkin kullanılmasını sağlayacaktır. Etkin iletişimin yanında iletişim araçlarından faydalanmakta gerekmektedir. Projelerde zaman yönetimi süreçleri, zaman programı planlama, etkinliklerin belirlenmesi, etkinlikleri sıralama, etkinlik süresi tahmini, iş programı oluşturma ve iş programı şeklinde sınıflandırılmıştır (Project Management Institute, 2021). Bu süreçlerin etkili bir şekilde uygulanması ile projelerde hedeflere uygun sonuçlar elde edilmesi mümkündür, bununla birlikte mimarların etkili zaman yönetimini kendi davranışlarında hangi düzeye kadar içselleştirebildikleri de önemlidir. Projelerin başarılı bir şekilde tamamlanmasında proje ekibinin etkisi de oldukça büyüktür. Proje ekibinin zaman yönetimi yöntemlerini uygulayabilecek düzeyde bilinçli olması ve ekibin birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışabilmesi proje başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple, mimarlık bürolarında kişilerin birbirleriyle açık ve etkin bir iletişim kurmaları zaman kayıplarının önüne geçerek zaman yönetiminin gerçekleştirilmesini kolaylaştıracaktır.

Örgütlerde işlerin aksamadan ilerleyebilmesi için yönetici ve iş görenlerin birbirleri ile etkili bir iletişim kurmaları gerekmektedir. Yetersiz iletişim, en az kötü bir planlama kadar zaman yönetimini etkileyen önemli bir etkidir. Örgütlerde işlerin devam etmesi ve yapılan planların uygulamaya geçirilmesi için planların ilgili kişilere aktarılması gerekmektedir. Planların uygulanması için etkili bir iletişime gereksinim duyulmaktadır. Aktarılmak istenen durumlar karşılıklı olarak açık ve sade bir dil ile ifade edilerek örgüt içerisinde hem zamandan verim alınmasını hem de

kişiler arasında sağlıklı ilişkiler kurulmasını sağlayacaktır (Yılmaz ve Aslan, 2002).

2. Bilimsel Yazın Taraması

Yapılan kaynak taramalarında mimarlar ve mimari tasarım sürecinde zaman yönetimine yönelik çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu çalışmalardan biri Soh (2003) tarafından tamamlanmış olan mimarlıkta zaman yönetimi algısının kazanılması ve çözümlenmesini hedefleyen doktora tezidir. Mimari tasarım sürecinde etkili yönetim yaklaşımı geliştirmenin önemini vurgulayan Soh (2003), zaman yönetiminin de yönetimin boyutlarından biri olduğuna değinmektedir. Tez kapsamında akademisyenlerin zaman yönetimi kavramını yaygınlaştırması ve zaman yönetimi eğitimi müfredatın bir parçası haline getirilmesi önerilmektedir (Soh, 2003).

Caven ve Raiden (2010) tarafından yapılmış çalışma kapsamında, mimarlar arasında iş yaşam dengesinin sağlanması için zaman yönetimi ve uzun çalışma saatlerine odaklanılmaktadır. İş yaşam dengesinin sağlanması açısından, özellikle mimarlık ofislerindeki gibi uzun çalışma saatleri gerektiren işlerde zaman yönetiminin etkili kullanılabilmesi için, esnek çalışma koşullarının oluşturulmasının önemi vurgulanmaktadır (Caven ve Raiden, 2010).

Onunze (2015), işgücü, para, malzeme yanı sıra zamanın da bir kaynak olduğunu belirtmekte ve sınırlı olduğunu vurgulamaktadır. Her türlü üretim sürecinde olduğu gibi mimarlık içinde zamanın önemli bir bileşen olduğunun üzerinde durmaktadır. Çalışma kapsamında mimarlar için etkili zaman yönetimi yolları tartışılmakta, uygun araçları kullanarak doğru zaman planlamayı, zaman yönetiminin önündeki engellerden kaçınmayı ve zaman tasarrufu tekniklerini kullanmayı içeren, kişinin zamanından nasıl tasarruf edeceğine yönelik çeşitli öneriler sunulmaktadır (Onunze, 2015).

Smitheram ve Kidd (2020), mimarlar, mimarlık alanında çalışan akademisyenler ve mimarlık öğrencileri arasında yürüttükleri çalışmada zaman kullanımına odaklanmakta uzun çalışma saatlerine değinilerek iş ve yaşam dengesine olan etkileri üzerinde durulmaktadır.

Farouk, Ahmed ve Abd-Elazeem (2023), konut binalarının tasarım sürecinde sürdürülebilir proje yönetiminin gerçekleştirilmesinde zaman yönetiminin etkisinin belirlemek amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. İnşaat sektöründe hem zaman yönetiminin hem de sürdürülebilir kalkınmanın artan önemini vurgulayan çalışma kapsamında, proje yaşam döngüsü boyunca proje zamanını, kalitesini ve maliyetini etkin bir şekilde yönetmede birbiriyle bağlantılı rollerini derinlemesine incelemektedir (Farouk ve diğ., 2023).

Zaman yönetimine yönelik olarak yapım endüstrisinde yürütülmüş çalışmalardan biri Akyüz, Ünal, Mete ve

Doger (2015) tarafından yürütülmüştür. Söz konusu çalışma kapsamında, yapım endüstrisinde çalışanların öncelikle zaman yönetimi tutumlarını belirlemek, ikinci aşamada zaman yönetimi tutumlarının nüfus bilimsel değişkenlere göre farklılık gösterip göstermediğinin araştırılması amaçlanmaktadır. Irak'ın Dahok kentindeki iki yapım şantiyesinde gerçekleştirilmiş olan çalışmadan elde edilen sonuçlar, yapım endüstrisinde çalışanların etkin zaman yönetiminin öneminin farkında olduklarını göstermektedir (Akyüz ve diğ., 2015).

Chin ve Hamid (2015), yaptıkları çalışmada yapım projelerinde zaman yönetimi uygulamalarını inceleyerek, paydaşların yapım işlerinin planlanmasına katılımını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Elde edilen bulgular, özellikle proje yöneticilerinin zamanın etkili kullanımı açısından diğer paydaşlara göre daha bilinçli bir yaklaşım ortaya koyduğunu göstermektedir (Chin ve Hamid, 2015).

Bovteev ve Kanyukova (2016), makalelerinde, projenin zamanında tamamlanmasının yanı sıra önemli kilometre taşlarına zamanında ulaşılması konuları üzerinde durmaktadır. Çoğu durumda projenin tamamlanması için belirlenen son tarihinin aşılması, projenin amaçları ve sonuçları karşılaştırıldığında istenmeyen durumların ortaya çıktığı, herhangi bir zamanda hedeflenen proje uygulamasının tahmini proje süresinden aşırı sapmalara neden olduğu vurgulanmakta, yapım projelerinde zaman yönetimi ile ilgili konuları ele almaktadır (Bovteev ve Kanyukova, 2016).

Olubajo, Hughes ve Schweber (2019), çalışmaları kapsamında inşaatta zamanın yönetimine ilişkin araştırmalarda hakim olan fikirleri ortaya çıkarmayı amaçlamaktadırlar. Araştırmanın odak noktası, faaliyetlerin zamanlaması ve sıralamasına yönelik teknikleri geliştirmek olmuştur. Bu çerçevede çalışanları hesaba katan ve projelerin neden sıklıkla zamanında bitirilemediğini açıklamaya yardımcı olmayı vaat eden yeni bir seçenek önerisi sunulmaktadır (Olubajo ve diğ., 2019).

Çıracıoğlu ve Yaman (2021), yapım şirketlerinde planlama bölümlerinin önemini vurgulayarak, zaman planlama ile yapı bilgi modellemenin eşgüdümleme düzeylerinin Türkiye'deki yüklenicilerin perspektifinden çok az araştırıldığını ortaya koymaktadır. Yaptıkları çalışma çerçevesinde Türkiye'deki önde gelen yapım şirketlerinin planlama sorunlarını, BIM uygulama düzeylerini ve BIM tabanlı zaman yönetimi uygulamalarını incelemektedirler (Çıracıoğlu ve Yaman, 2021).

Shehu (2021), çalışması kapsamında Nijerya'daki inşaat projelerinde zaman yönetimi etkenlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Çalışma çerçevesinde projenin zamanında tamamlanmasını etkileyen otuz bir (31) etken belirlenmiş olup, söz konusu etkenler, süreçler,

ilkeler ve uygulamalar olmak üzere üç ana etken grubu altında toplanmıştır (Shehu, 2021).

Yapılan kaynak taramalarında, yapım endüstrisinde ve mimarlar arasında zaman yönetimine yönelik yapılmış çeşitli çalışmalar yürütülmüş olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, İstanbul özelinde gerçekleştirilmiş olan bu çalışma diğer çalışmalardan, zaman yönetimini zamanı planlama, zaman kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim olmak üzere beş alt boyuta ayrılarak incelenmesiyle farklılaşmaktadır. Öte yandan, zaman yönetimi örgüt yönetimi açısından da önemli bir araçtır (Safonov, Maslennikov ve Kashubskyi, 2017; Farrell, 2017; Akatay, 2003). Yapılmış olan çalışmalarda da zaman yönetimi genel olarak örgütsel düzeyde ve yönetimin bir aracı olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışma kapsamında, her ne kadar örgütsel düzeydeki zaman yönetimi yaklaşımını bireysel davranışlardan tam olarak soyutlamak kolay olmasa da daha çok mimarların bireysel davranışlarına odaklanması hedeflenmektedir.

3. Araştırmanın Kavramsal Çerçevesi

3.1. Araştırmanın Amacı

Bu çalışmada zaman yönetiminin etkin bir şekilde yürütülmesinin, örgütlerde gerçekleştirilen diğer tüm faaliyetleri olumlu bir şekilde etkileyeceği, dolayısıyla projenin başarısına katkı sağlayacağı düşüncesiyle yola çıkılmıştır. Zaman yönetiminin örgütsel ve bireysel olarak iki boyutu olup, her iki boyutun birlikte yürütülmesi, tüm örgütlerde olduğu gibi, karmaşık bir yapıya sahip olan mimari tasarım sürecinin yürütüldüğü mimarlık bürolarında da önemlidir. Bireylerin ve örgütlerin yıllar içinde edindikleri birikim çerçevesinde zamanı daha etkili yönetecekleri düşüncesinde yola çıkılmıştır. Bu noktada birey olarak mimarların zaman yönetimi davranışlarının yaşları, çalışma deneyimleri ile olan ilişkisinin ölçülmesi çalışmanın birinci amacıdır. Bu kapsamda, mimarların çalıştıkları büroların faaliyet yılları ile zaman yönetimi davranışları arasındaki ilişkilerin incelenmesi ise çalışmanın ikinci amacını oluşturmaktadır. Son olarak, mimarların zaman yönetimi davranışlarının kendi aralarındaki ilişkilerin incelenmesi amaçlanmaktadır.

3.2. Araştırmanın Varsayımları

Bireylerin zamanı etkin bir şekilde kullanabilmeleri, vakitlerini nereye ve nasıl harcadıklarını belirlemelerine bağlıdır. Bu duruma yönelik yapılan bilinçli çabaların kurumlara, yöneticilere ve iş görenlere pek çok katkısı bulunmaktadır (Örücü ve diğ., 2007). İnsanların gerek kişisel gerekse iş yaşantılarında insan ilişkileri ve yaşadıkları olaylar karşısında hafızalarında olumlu veya olumsuz deneyimler yer edinmektedir. Kişiler iş yaşantılarında ne kadar çok durumla karşılaşarsa insanları tanıma ve olaylar hakkında karar verme yetenekleri artmaktadır. Bu noktada, yaşın ve

deneyimin artmasıyla birlikte geçmiş deneyimlerden gelen birikimlerinde mimarların zamanı etkili yönetmeyi öğrenmelerine yardımcı olacağı düşünülmektedir. Araştırmada zaman yönetimi değişkenlerinden zamanın kullanımı ile mimarların yaşları arasında anlamlı bir ilişki olabileceği düşünülmektedir. Bu noktadan yola çıkılarak aşağıdaki varsayımlar oluşturulmuştur.

Varsayım 1: *Zaman yönetimi etmenlerinden en az bir ölçek yaşa göre anlamlı farklılık göstermesi öngörülmektedir.*

Varsayım 2: *Zaman yönetimi etmenlerinden en az bir ölçek çalışma deneyimine göre anlamlı farklılık göstermesi öngörülmektedir.*

Zaman yönetimi, zamanı etkin kullanmaya yönelik bir kavramdır. Zamanın etkin kullanımı ise sahip olunan vaktin bir amaç doğrultusunda planlanarak kullanılmasıdır. Zaman kaybına neden olan pek çok unsur yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur. Başarılı bir zaman yönetiminin gerçekleştirilmesi için örgütlerin ve kişilerin zamanın önemini kavramaları ve zaman kaybına düşmeyecek şekilde yapılanmaları gerekmektedir. Örgütlerde, planlama ile ulaşılabilir hedefler belirlenerek işlerin uygulanmasına yönelik adımlar belirlenmelidir. Planlama yapılırken etkinliklerin zaman açısından ele alınması önemli bir unsurdur. Bu sayede zamandan etkin bir şekilde faydalanılabilmektedir (Yılmaz, 2015). Zamanın etkin kullanılması için zaman kayıplarına sebep olan unsurların ortadan kaldırılması gerekmektedir. Zamanın etkin kullanılmasını engelleyen zaman tuzakları örgütlerde hedeflenen başarıya ulaşmanın önündeki en büyük engellerdendir. Zamanın iyi kullanılmadığı durumlarda kişilerin üzerindeki gerilim artar ve başarılarının düşmesine sebep olabilmektedir. Bunun yanı sıra örgütlerin verimliliğini de düşürmektedir (Dmytryshyn ve Goran, 2022). Örgütlerde etkin iletişimin zaman yönetimine katkısı büyüktür. Etkili iletişim, kişiler arası ilişkileri kolaylaştırırken hem kişisel hem de örgütsel başarıya katkısı yapılan çalışmalarla ortaya konmuştur (Otter ve Emmitt, 2007). Örgütlerde, iletişimin açık ve net bir şekilde sağlanması ve iletişim araçlarının etkin kullanımı işlerin daha hızlı ve doğru olarak tamamlanmasını sağlamaktadır. Yapım endüstrisine yönelik yapılan çalışmalarda iletişimin yetersiz kaldığı belirlenmiştir. İletişim, projelerin başarılı bir biçimde tamamlanması için önemli bir araç olarak ön plana çıkmaktadır (Obonadhuze, Eze, Siunoje ve Sofolaha, 2021). Örgütlerin zamanın etkin kullanılmasına yönelik sunduğu teknoloji, uygun çalışma ortamı gibi olanaklar aynı zamanda kişilerin güdülenmesini artırarak zamandan tasarruf edilmesini sağlayacaktır. Bu çerçevede, sözü edilen deneyimin büroların çalışmaya başladıktan sonra, yıllar içinde deneyim kazandıkça geliştiği ve öğrenileceği düşüncesine varılmıştır. Bu

noktadan yola çıkılarak aşağıdaki varsayım oluşturulmuştur.

Varsayım 3: *Zaman yönetimi etmenlerinden en az bir ölçek katılımcıların çalıştığı büronun faaliyet yılına göre anlamlı farklılık göstermesi öngörülmektedir.*

Başarının önemli etkenlerinden biri olan zaman yönetimi, hedeflenen başarıya ulaşmak için zamanı düzenlemekle ilgili bir kavramdır. Kişiler için günlük yaşantıyı, örgütler için ise iş süreçlerinin belirlenmesidir. Bir kaynak olarak kullanılan zamanın verimli kullanılmasına etki eden pek çok unsur bulunmaktadır. Zaman yönetiminin faydalarını açıklamak amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda zaman yönetiminin daha kolay ölçülebilmesi için birtakım ölçütler (zamanı planlama, zaman tutumları, zamanı boşa harcama) belirlenerek belirlenmeye çalışılmıştır (Alay ve Koçak, 2003). Yapılan bu çalışmada ise, zaman kavramı zamanı planlama, zamanın kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim boyutları ile ele alınmıştır. Belirlenen değişkenler zaman yönetimini etkileyen önemli unsurlar ve bir bütünün alt boyutları olması sebebiyle birbirlerinden etkilenebilecekleri öngörülmüştür. Zaman yönetimi değişkenlerinin mimarların tanımlayıcı özellikleri ile olabilecek ilişkilerin yanında, değişkenlerin birbirleri ile anlamlı ilişkiler olabileceği düşünülmektedir. Bu noktadan yola çıkılarak aşağıdaki varsayım oluşturulmuştur.

Varsayım 4: *Zaman yönetimi ile ilgili belirlenen zamanı planlama, zamanın kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim değişkenlerinin birbirleri arasında anlamlı ve olumlu yönde olduğu öngörülmektedir.*

3.3. Araştırmanın Tasarımı

Mimarlık bürolarında zaman yönetiminin incelendiği bu çalışma anket çalışması ile desteklenmiştir. Bu bağlamda zaman yönetimi, zamanı planlama, zamanı kullanma, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim alt grupları açısından değerlendirilmiştir. Yapılan anket çalışmasıyla, mimarlık bürolarında zaman yönetimi ile ilgili belirlenen olumsuz durumların belirlenerek, zaman yönetiminin önemine dikkat çekilmesi ve sorunların düzeltilmesi için önlem alınmasına katkı sağlanacağı umulmaktadır.

Bu çalışmanın evreni, İstanbul'da bulunan mimarlık bürolarının firma sahibi/ortağı ve çalışan mimarlarından oluşmaktadır. Google Forms ile oluşturulan anket çalışması Ocak 2022-Mart 2022 tarihleri arasında 600 kişiye e-posta yoluyla iletilmiş olup 205 kişi çalışmaya katılmıştır, soru kağıdını yanıtlayan 174 kişinin mesleği mimar olduğu için, değerlendirmeye 174 yanıt alınmıştır. Anket çalışması basit tesadüfi örneklem yöntemi ile uygulanmıştır.

Anketlere başlanmadan önce İstanbul Kültür Üniversitesi Etik Kuruluna başvurulmuş ve onay

alınmıştır. İstanbul Kültür Üniversitesi Etik Kurulu'nun 31 Aralık 2021 tarihli ve 2021/87 numaralı kararı sonrasında anketler yapılmıştır.

Çalışma kapsamına farklı görev düzeylerindeki iş veren, yönetici ve iş görenler farklı sayılarda da olsa dahil edilmiştir. Mimarlık bürolarında zaman yönetiminin yönetici ya da iş görenlerin davranışları birlikte değerlendirmeye alınarak, görev düzeylerindeki ayrımlar dikkate alınmadan genel bir sonuca ulaşılması amaçlanmaktadır. Zaman yönetimi ölçeğinin geçerlilik ve güvenilirlik çalışması Alay ve Koçak (2002) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada, Araştırma ve Yayın Etiğine uyulmuştur.

Yapılan araştırma doğrultusunda çalışmanın varsayımları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Anket çalışmasına katılan kişilerin soruları tek başına ve birbirlerinden etkilenmeden cevaplandıkları varsayılmaktadır.
- Anket çalışmasına katılan kişilerin soruları okuyup anlayarak dürüst bir şekilde cevaplandıkları varsayılmaktadır.
- Anketin araştırma konusu ile çelişmediği varsayılmaktadır.
- Anketin uygulandığı örneklemin, evrenin hepsini temsil etmek için yeterli olacağı varsayılmaktadır.

Yapılan araştırma doğrultusunda çalışmanın sınırlılıkları aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

- Araştırma İstanbul'da bulunan mimarlık bürolarında faaliyet gösteren yönetici ve iş görenler mimarlar arasından tesadüfi örnekleme yöntemi ile alınan yanıtlarla sınırlıdır.
- Araştırma, çalışma kapsamında yapılan kaynak taraması ve anket çalışması ile sınırlıdır.
- Araştırma konusu mimarların zaman yönetimi davranışlarına etki edeceği düşünülen tanımlayıcı özellikleri ve zaman yönetimi davranışlarına yönelik değişkenler ile sınırlıdır.

Soru kağıdı, Erdal Demir (2006) tarafından yürütülmüş olan tez çalışmasında kullanılan soru kağıdından yararlanılarak hazırlanmıştır. Sorular mimarlık bürolarına uygun olacak şekilde düzenlenmiştir.

Soru kağıdı iki bölümden oluşmaktadır. İlk kısımda katılımcıların cinsiyet, yaş, öğrenim durumu, meslek bilgisi, çalışma deneyimi bürodaki pozisyonu, bürodaki çalışan sayısı ve büronun faaliyet süresi bilgilerinden oluşan tanımlayıcı bilgi formu bulunmaktadır.

Soru kağıdının ikinci kısmında ise, zaman yönetimine ilişkin sorular yer almaktadır. Zaman yönetimi 5 alt grupta toplanmış olup zaman planlama, zaman kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim açısından değerlendirilmiştir. Katılımcıların

yanıtları, "1. Kesinlikle Katılıyorum, 2. Katılıyorum, 3. Kararsızım, 4. Katılmıyorum, 5. Kesinlikle Katılmıyorum" şeklinde, Likert ölçeği kullanılarak derecelendirilmiştir.

Soru kağıdının 2. bölümünde zaman yönetimi davranışlarını ölçmeye yönelik olarak zamanı planlamayı ölçmeye yönelik 6, zaman kullanımını ölçmeye yönelik 6, zamandan tasarrufu ölçmeye yönelik 9, zaman tuzaklarını ölçmeye yönelik 7, iletişimi ölçmeye yönelik 6 adet olmak üzere toplam 34 soru yöneltilmiştir. Zor işleri ertelemek gerektiğini düşünürüm, çalışma zamanının planlı olmasına gerek yoktur zamanı planlamayı ölçmeye yönelik olarak sorulmuş sorulardan bazılarıdır. Koca bir gün geçti ama ben hiçbir şey yapmadım, bir işi yaparken aceleci olmak gerektiğini düşünürüm zaman kullanımını ölçmeye yönelik olarak sorulmuş sorulardan bazılarıdır. Stres ve zaman baskısı çalışanları olumsuz etkiler, çalışanın işe veya işin çalışana uygun olmaması zaman verimliliğini düşürür zamandan tasarrufu ölçmeye yönelik sorularda bazılarıdır. İşle ilgili olmayan telefon görüşmeleri mesai saatlerinde engellenmelidir, aşırı sosyalleşmenin olduğu işyerlerinde iş akışı yavaşlar zaman tuzaklarını ölçmek için sorulardan bazılarıdır. İletişim boyutunu ölçmek için de çalışma arkadaşlarımla etkili bir iletişimim olursa işler daha hızlı ilerler, iletişimde anlaşılır ve net olup, ne dediğimin anlaşılıp anlaşılmadığımı denetlerim gibi sorular sorulmuştur.

3.4. Verilerin Çözümlemesi ve Değerlendirme Teknikleri

Mimarlık bürolarında yönetici ve iş gören mimarlara uygulanan anket çalışması sonucunda değerlendirilebilecek 174 kişiden yanıt alınmıştır. Soru kağıdı, Mimarlar Odası tarafından yayınlanan "Tescilli Mimarlık Büroları" listesinden İstanbul'da bulunan mimarlık bürolarına e-posta yolu ile iletilmiştir. Anket çalışmasına katılan mimarların tanımlayıcı özellikleri (cinsiyet, yaş, öğrenim durumu, çalışma deneyimi, görev düzeyi) frekans ve yüzde dağılımı şeklinde ifade edilmiştir. 2. Kısım olarak ifade edilen "Zaman Yönetimi" anketinde her bir alt grup için tanımlayıcı istatistik sonuçları elde etmek amacıyla ankete katılan kişilerin görüşlerine ait ortalama değerler saptanmıştır. Daha sonra "Zaman Yönetimi" ölçeğini oluşturan gruplar arasındaki ilişkiler korelasyon çözümleme tekniği ile değerlendirilmiştir. Araştırma kapsamında uygulanan anket çalışması için yapılan çözümlemelerin güven aralığı yüzde 83 (yüksek güvenilirlik) düzeyindedir. Çözümlemede 0,05'ten küçük olan p (anlamlılık) değerleri istatistik açısından anlamlı olarak kabul edilmiştir.

İki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve derecesini belirten korelasyon çözümlemeleri sonrasında mimarların tanımlayıcı özellikleri ile zaman yönetimine ilişkin davranışlarının ölçülmesi için regresyon

çözümlenmeleri yapılmıştır. X ve Y değişkenleri arasında korelasyon katsayısı hesaplanırken, değişkenlerin bağımlı olarak bir ayrıma tabi tutulması hesaplamalar açısından önemli olmamaktadır. Regresyon çözümlenmelerinde ise değişkenlerin bağımlı ve bağımsız değişkenler olmak üzere gruplara ayrılması gerekmektedir. Bağımlı değişken Y, bağımsız değişken ise X ile gösterilmekte olup, bağımlı değişken, bağımsız değişkenler tarafından açıklanmaya çalışılmaktadır. Regresyon çözümlenmesinde “standart yöntem” tekniği kullanılmıştır. Standart yöntem tekniğinde bütün bağımsız değişkenlerin tamamı aynı anda çözümlenmeye dahil edilmektedir.

Çalışmadaki verilerin istatistiksel çözümlenmeleri IBM SPSS 25.0 sürümü ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çözümlenmelerin güven aralığı yüzde 95 düzeyinde değerlendirmeye alınmış olup, istatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir. Verilerin normallik dağılımı Kolmogrov Smirnov Test kullanılarak incelenmiştir. Test sonucunda ilgili ölçek verilerinin sonuçların çarpıklık ve basıklık değerleri -1,5 ile +1,5 aralığında olduğu için normal dağılım olduğu kabul edilmektedir. Ölçekler normal dağılım sağladıkları için parametrik testler uygulanmıştır.

Katılımcının yaş, çalışma deneyimi, büronun faaliyet yılı için Anova Testi uygulanmış olup, Anova’da Post Hoc testlerinden Tukey testi kullanılmıştır. Anova testi sonuçları kişi sayısı (N), ortalaması (X), standart sapması (SS), testin F değeri ve P değeri olarak gösterilmiştir. T testi sonuçları kişi sayısı(N), ortalaması(X), standart sapması (SS), testin F değeri, T değeri ve P değeri olarak gösterilmiştir. Ölçeklerin arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla korelasyon çözümlenmesi uygulanmış olup, bu kapsamda kişi sayısı, ortalama, standart sapma ve korelasyon değerleri verilmiştir.

Örnekleminin güvenilirlik çözümlenmesi sonuçlarına göre, zaman planlama ve zaman tuzakları alt ölçeklerinin Cronbach’s Alpha değerleri $0,60 \leq \alpha < 0,80$ aralığında bulunduğundan dolayı oldukça güvenilir; zamandan tasarruf alt ölçeğinin Cronbach’s Alpha değeri 0,80’den yüksek olduğundan dolayı yüksek derecede güvenilir, zaman kullanımı ve iletişim alt ölçeklerinin Cronbach’s Alpha değerleri $0,40 \leq \alpha < 0,60$ aralığında bulunduğundan dolayı düşük güvenilir olarak sınıflandırılmaktadır. Bununla birlikte, ölçeğin bütününün Cronbach’s Alpha değeri 0,80’den yüksek olduğundan dolayı yüksek derecede güvenilir.

Tablo 1. Katılımcıların Tanımlayıcı Özellikleri

	Kişi sayısı	%	Ortalama	Medyan	Mod	SS	Min.	Maks.
Cinsiyet			1.34	1.00	1	0.475	1	2
Kadın	115	65.7						
Erkek	59	33.9						
Toplam	174	100						
Yaş Grubu			1.53	1.00	1	0.823	1	4
22-30	113	64.6						
31-40	34	19.4						
41-50	22	12.6						
51 ve üzeri	5	2.9						
Toplam	174	100						
Öğrenim Durumu			2.34	2.00	2	0.487	1	3
Lisans	116	66.7						
Yüksek Lisans	57	32.8						
Doktora	1	0.6						
Toplam	174	100						
Çalışma Deneyimi			3.24	2.00	2	1.896	1	6
0-1	34	19.5						
1-3	54	31.0						
3-5	19	10.9						
5-7	12	6.9						
7-10	13	7.5						
10 ve üzeri	42	24.1						
Toplam	174	100						
Görev Düzeyi			1.76	2.00	2	0.429	1	2
Firma Sahibi /								
Ortağı	42	24.1						
Çalışan	132	75.9						
Toplam	174	100						

4. Araştırmanın Bulguları

4.1. Tanımlayıcı Çözümlenmeler

Araştırma kapsamında anket çalışmasına 174 iş veren ve iş gören mimar katılmıştır. Katılımcıların tanımlayıcı özellikleri Tablo 1'de özetlenmiştir. Soru kağıdını yanıtlayan iş gören mimarlar ağırlıklı olarak kadın ve 22-30 yaş aralığındadır. İş gören mimarlar ağırlıklı olarak lisans mezunu olup, yüksek lisans yapmış olanlar yarı yarıya az olup, çalışma deneyimleri ağırlıklı olarak 1 ile 3 yıl arasında değişmektedir. Çalışma deneyimi

açısından ikinci sırada 1 yıldan fazla deneyimi olmayan mimarlar gelmektedir. Soru kağıdını yanıtlayan mimarlar ağırlıklı olarak iş gören olup, yüzde 24'ü firma sahibi ya da ortağıdır.

Soru kağıdını yanıtlayan mimarların çalıştıkları büroların tanımlayıcı özellikleri Tablo 2'de özetlenmiştir. Bürolarda ağırlıklı olarak 1 ile 5 kişi çalışmakta olup, 6 ile 10 çalışanı olan bürolar da ikinci sırada yer almaktadır. Bürolar, ağırlıklı olarak 1 ile 5 yıldır faaliyet göstermekte olup, ikinci sırada 16 ile 20 yıldır faaliyet göstermekte olanlar gelmektedir.

Tablo 2. Büroların Tanımlayıcı Özellikleri

	Kişi sayısı	%	Ortalama	Medyan	Mod	SS	Min.	Maks.
Büroda Çalışan Sayısı			2.65	2.00	1	2.115	1	7
1-5	69	39.7						
6-10	53	30.5						
11-15	13	7.4						
16-20	1	0.6						
21-25	9	5.1						
26-30	5	2.9						
31 ve üzeri	24	13.7						
Toplam	174	100						
Büronun Faaliyet Yılı			3.33	3.00	1	1.968	1	7
1-5	44	25.1						
6-10	27	15.4						
11-15	25	14.3						
16-20	30	17.1						
21-25	19	10.9						
26-30	12	6.9						
31 ve üzeri	17	9.8						
Toplam	174	100						

4.2. Zaman Yönetimine İlişkin Bulgular

Bu bölümde tanımlayıcı özelliklerin mimarların zaman yönetimi davranışlarının oluşmasında anlamlı etkiye sahip olup olmadığının ölçülmesine yönelik olarak veri çözümlenmeleri yapılmıştır. Katılımcıların yaş, çalışma deneyimi ve büroların faaliyet yılının anlamlı bir farklılaşma gösterip göstermediğini ölçmek için Anova testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Tablo 3'te görüldüğü gibi, katılımcıların yaşlarının zamanı planlama, zamanın kullanımı, zaman tuzakları ve iletişim alt ölçeklerinde anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$). Zamandan tasarruf alt ölçeği ile katılımcıların yaşlarının grup ortalamaları arasında anlamlı bir farklılaşma bulunmuştur ($p<0,05$). Soru kağıdını yanıtlayan mimarların, zamandan tasarruf alt ölçeğinde 22-30 yaş aralığında bulunanların grup ortalaması ile 51 yaş ve üzerinde olan grubun ortalaması arasında (Post Hoc Tukey $p=0,000$) anlamlı farklılık bulunmaktadır.

Mimarlık bürolarında çalışan mimarların zaman yönetimi davranışlarının yaşa göre değişip değişmediğini ölçmek için ikinci adımda regresyon çözümlenmesi yapılmıştır (Tablo 4). Yaş ile zaman

yönetimi davranışları arasındaki uyum iyiliğini tanımlayıcı katsayı (R^2) 0.096'dır. Buna göre yaş, zaman yönetimi davranışının bağımsız değişkenlerini 0.096, bir başka anlatımla, %1 oranında açıklamaktadır. Çözümlenmeye dahil edilmeyen değişkenler ise mimarların zaman yönetimini %99 oranında açıklamaktadır. Değişkenler arasındaki öngörülen ilişkinin uyum iyiliği olarak tanımlanan F testinin sonucuna göre, yaş ile zaman yönetimi davranışları arasındaki doğrusal ilişki istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($\text{sign } F=0.004\leq 0.05$). Diğer bir anlatımla yaş ile zaman yönetimi davranışları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Elde edilen sonuç çok düşük olduğu için yaşın zaman yönetimi davranışları üzerinde önemli bir etkisi olmamakla birlikte, ön görülen ilişkide yer alan her bir bağımsız değişkenin sonuçlara etkisini belirleyen kısmi regresyon katsayılarına (b) bakıldığında, yaş ile zamandan tasarruf arasında olumsuz yönlü doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Yaş ile zaman yönetimi ilişkisini açıklayan regresyon eşitliği Denklem (1) gibi kurulabilir:

$$Y1=Yaş$$

X1= Zamanı Planlama

X2= Zaman Kullanımı

X3= Zamandan Tasarruf

X4= Zaman Tuzakları

X5= İletişim

$$Y1 = 2.583 + 0.017X1 + 0.020X2 + -0.072X3 + -0.004X4 + 0.003X5 \quad (1)$$

Bu sonuçlara göre, yaş ile zamandan tasarruf arasındaki ilişki önemli olurken, bağımsız değişkenleri oluşturan

diğer zaman yönetimi davranışlarının önemli bir katkısı olmamaktadır.

Katılımcıların çalışma deneyimi Anova testi sonuçlarına göre, Tablo 5'te görüldüğü gibi, katılımcıların çalışma deneyimlerinin zamanı planlama, zamanın kullanımı, zaman tuzakları ve iletişim alt ölçeklerinde anlamlı farklılık bulunmamıştır ($p>0,05$). Zamandan tasarruf alt ölçeği ile katılımcıların çalışma deneyimleri grup ortalamaları arasında anlamlı farklılaşma bulunmuştur ($p<0,05$). Soru kağıdını yanıtlayan mimarların, zamandan tasarruf alt ölçeğinde 0-1 yıl deneyim aralığında bulunanların grup ortalaması ile 10 yıl ve üzerinde olan grubun ortalaması arasında (Post Hoc Tukey $p=0,025$) anlamlı farklılık bulunmaktadır.

Tablo 3. Katılımcıların Yaş Anova Testi Sonuçları

	Yaş	N	X	SS	F	P
Zamanı Planlama	22-30	113	8.7699	0.23686	2.463	0.064
	31-40	34	9.9118	0.47084		
	41-50	22	8.8182	0.59811		
	51 ve üzeri	5	7.2000	1.49666		
	Toplam	174	8.9540	0.20129		
Zamanın Kullanımı	22-30	113	15.1593	2.60688	0.493	0.688
	31-40	34	14.9412	3.02456		
	41-50	22	15.3636	2.47935		
	51 ve üzeri	5	13.8000	4.96991		
	Toplam	174	15.1034	2.74350		
Zamandan Tasarruf	22-30	113	20.1150	3.51210	6.790	0.000
	31-40	34	19.2059	3.30087		
	41-50	22	18.1364	3.32803		
	51 ve üzeri	5	13.8000	5.11859		
	Toplam	174	19.5057	3.66793		
Zaman Tuzakları	22-30	113	18.4690	4.26378	0.300	0.825
	31-40	34	18.2647	3.91817		
	41-50	22	17.6818	3.35781		
	51 ve üzeri	5	17.4000	6.87750		
	Toplam	174	18.2989	4.15346		
İletişim	22-30	113	7.9823	1.91322	0.568	0.637
	31-40	34	8.0000	1.98479		
	41-50	22	7.6364	1.96506		
	51 ve üzeri	5	7.0000	3.24037		
	Toplam	174	7.9138	1.96752		

Mimarlık bürolarında çalışan mimarların zaman yönetimi davranışlarının çalışma deneyimine göre değişip değişmediğini ölçmek için ikinci adımda regresyon çözümlemesi yapılmıştır (Tablo 5). Çalışma deneyimi ile zaman yönetimi davranışları arasındaki uyum iyiliğini tanımlayıcı katsayı (R^2) 0.081'dir. Buna göre çalışma deneyimi, zaman yönetimi davranışının bağımsız değişkenlerini 0.081, bir başka anlatımla, %1 oranında açıklamaktadır. Çözümlemeye dahil edilmeyen değişkenler ise mimarların zaman yönetimini %99 oranında açıklamaktadır. F testinin

sonucuna göre, çalışma deneyimi ile zaman yönetimi davranışları arasındaki doğrusal ilişki istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($\text{sign } F=0.013 \leq 0.05$). Başka bir anlatımla, çalışma deneyimi ile zaman yönetimi davranışları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Elde edilen sonuç çok düşük olduğu için çalışma deneyiminin zaman yönetimi davranışları üzerinde önemli bir etkisi olmamakla birlikte, çözümlemeye yer alan her bir bağımsız değişkenin sonuca etkisini belirleyen kısmi regresyon katsayılarına (b) bakıldığında, büroların çalışma deneyimi ile zamandan

tasarruf arasında olumsuz yönlü doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Çalışma deneyimi ile zaman yönetimi ilişkisini açıklayan regresyon eşitliği Denklem (2) gibi kurulabilir:

Y2=Çalışma Deneyimi

X1= Zamanı Planlama

X2= Zaman Kullanımı

X3= Zamandan Tasarruf

X4= Zaman Tuzakları

X5= İletişim

$$Y2 = 6.062 + 0.081X1 + -0.008X2 + -0.124X3 + -0.042X4 + -0.003X5 \quad (2)$$

Tablo 4. Katılımcıların Yaş Zaman Yönetimi Davranışları Regresyon Çözümlemesi Sonuçları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler	B katsayısı	Stn.Spm	Beta	T	Sign.t*
Yaş	Zamanı Planlama	0.017	0.025	0.055	0.677	0.500
	Zaman Kullanımı	0.020	0.024	0.067	0.833	0.406
	Zamandan Tasarruf	-0.072	0.018	-0.300	-3.961	0.000
	Zaman Tuzakları	-0.004	0.017	-0.020	-0.231	0.818
	İletişim	-0.003	0.017	-0.007	-0.086	0.931
	Sabit Sayı	2.583	0.447		5.76	0,000

F: 3.564; Sign. F*: 0.004; R²: 0.096; Durbin-Watson: 1.878; Df: 173

*0.05 önemlilik düzeyi

Bu sonuçlara göre, çalışma deneyimi ile zamandan tasarruf arasındaki ilişki önemli olurken, bağımsız değişkenleri oluşturan diğer zaman yönetimi davranışlarının önemli bir katkısı olmamaktadır.

Katılımcıların çalıştıkları büronun faaliyet yılının anlamlı bir farklılaşma gösterip göstermediğini ölçmek için Anova testi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, Tablo 6'da görüldüğü gibi, katılımcıların çalıştıkları büronun faaliyet yılının zamanı planlama, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim alt ölçeklerinde anlamlı farklılık bulunmamıştır (p>0,05). Zaman kullanımı alt ölçeği ile katılımcıların çalışma deneyimleri grup ortalamaları arasında anlamlı farklılaşma bulunmuştur (p<0,05). Soru kağıdını yanıtlayan mimarların, zaman kullanımı alt ölçeğinde 1-5 yıldan beri faaliyet gösterenler ile 31 ve üzeri yıldır faaliyet gösterenlerin grup ortalaması arasında (Post Hoc Tukey p=0,016) anlamlı farklılık bulunmaktadır.

Mimarlık bürolarında çalışan mimarların zaman yönetimi davranışlarının çalıştıkları büronun faaliyet yılına göre değişip değişmediğini ölçmek için ikinci adımda regresyon çözümlemesi yapılmıştır (Tablo 7). Büroların faaliyet yılı ile zaman yönetimi davranışları arasındaki uyum iyiliğini tanımlayan katsayı (R²) 0.081'dir. Buna göre büroların faaliyet yılı, zaman yönetimi davranışları bağımsız değişkenlerini 0.081, bir başka anlatımla, %1 oranında açıklamaktadır. Çözümlemeye dahil edilmeyen değişkenler ise mimarların zaman yönetimi davranışlarını %99 oranında açıklamaktadır. F testinin sonucuna göre, büronun faaliyet yılı ile zaman yönetimi davranışları

arasındaki doğrusal ilişki istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (sign F=0.019≤0.05). Diğer bir anlatımla büroların faaliyet yılı ile zaman yönetimi davranışları arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Elde edilen sonuç çok düşük olduğu için çalışma deneyiminin zaman yönetimi davranışları üzerinde önemli bir etkisi olmamakla birlikte, çözümlemeye yer alan her bir bağımsız değişkenin sonuçlara etkisini belirleyen kısmi regresyon katsayılarına (b) bakıldığında, büro faaliyet yılı ile zamandan tasarruf arasında olumsuz yönlü doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Çalışma deneyimi ile zaman yönetimi ilişkisini açıklayan regresyon eşitliği Denklem (3) gibi kurulabilir:

Y3=Büro Faaliyet Yılı

X1= Zamanı Planlama

X2= Zaman Kullanımı

X3= Zamandan Tasarruf

X4= Zaman Tuzakları

X5= İletişim

$$Y3 = 6.255 + -0.063X1 + -0.063X2 + -0.101X3 + -0.026X4 + - 0.130X5 \quad (3)$$

Bu sonuçlara göre, büroların faaliyet yılı ile zamandan tasarruf arasındaki ilişki önemli olurken, bağımsız değişkenleri oluşturan diğer zaman yönetimi davranışlarının önemli bir katkısı olmamaktadır.

Tablo 5. Katılımcıların Çalışma Deneyimi Anova Testi Sonuçları

	Çalışma Deneyimi (yıl)	N	X	SS	F	P
Zamanı Planlama	0-1	34	8.9412	2.41135	1.202	0.310
	1-3	54	9.0370	2.69845		
	3-5	19	8.2105	2.37063		
	5-7	12	8.3333	2.14617		
	7-10	13	10.3846	2.72453		
	10 ve üzeri	42	8.9286	2.95819		
	Toplam	174	8.9540	2.655516		
Zamanın Kullanımı	0-1	34	16.2941	1.64279	1.734	0.129
	1-3	54	14.7037	2.97556		
	3-5	19	15.0526	1.87005		
	5-7	12	14.5833	3.20393		
	7-10	13	14.6154	3.33013		
	10 ve üzeri	42	14.9762	3.00802		
	Toplam	174	15.1034	2.74350		
Zamandan Tasarruf	0-1	34	20.9118	3.54510	2.690	0.023
	1-3	54	19.7778	3.71974		
	3-5	19	19.9474	3.00876		
	5-7	12	19.2500	4.04801		
	7-10	13	19.1538	3.31276		
	10 ve üzeri	42	18.0000	3.60217		
	Toplam	174	19.5057	3.66793		
Zaman Tuzakları	0-1	34	19.2647	4.14370	2.022	0.078
	1-3	54	18.9630	3.98091		
	3-5	19	16.1579	4.28516		
	5-7	12	18.5000	4.75777		
	7-10	13	17.0000	3.60555		
	10 ve üzeri	42	17.9762	4.05143		
	Toplam	174	18.2989	4.15346		
İletişim	0-1	34	8.2941	1.91532	0.918	0.471
	1-3	54	7.8889	1.90002		
	3-5	19	8.0526	2.01311		
	5-7	12	7.4167	2.02073		
	7-10	13	8.4615	2.18386		
	10 ve üzeri	42	7.5476	2.00247		
	Toplam	174	7.9138	1.96752		

4.3. Zaman Yönetimine İlişkin Korelasyon Çözümlemeleri

Mimarların zaman yönetimine ilişkin davranışlarını belirleyebilmek için korelasyon çözümlenmeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, puanlamada kesinlikle katılıyorum seçeneği 1 puan, kesinlikle katılmıyorum 5 puan olarak, aşağıdan yukarıya olacak şekilde yapıldığı için, ters yönde çıkmış gibi görünmektedir. Tanımlayıcı özellikler ile zaman yönetimi değişkenleri arasında yapılan çözümlenmelere göre, Tablo 8'da görüldüğü gibi zamanı planlama ile çalışan sayısı arasında ($r=-0,190$ $p<0,05$) olumsuz yönlü düşük şiddette anlamlı ilişki bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar ters yönlü bir ilişki gibi görünmesine rağmen, bürolardaki çalışan sayısı arttıkça zamanı planlama artmaktadır. Zaman kullanımını ile büronun faaliyet yılı arasında ($r=-0,164$ $p<0,05$) olumsuz yönlü düşük şiddette anlamlı ilişki bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar ters yönlü ilişki gibi görünmesine rağmen, büroların faaliyet yılı arttıkça etkili zaman kullanımını artmaktadır. Zamandan tasarruf ile yaş grubu arasında ($r=-0,299$ $p<0,01$) olumsuz yönlü orta şiddette, çalışma deneyimi arasında ($r=-0,260$ $p<0,01$) olumsuz yönlü orta şiddette ve büronun faaliyet yılı arasında ($r=-0,210$ $p<0,01$) olumsuz yönlü orta şiddette anlamlı ilişkiler bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre, elde edilen sonuçlar ters yönlü ilişki gibi görünmesine rağmen, yaş, çalışma deneyimi ve büronun

faaliyet yılı arttıkça zamandan tasarruf da artmaktadır. Zaman yönetimi değişkenlerinin kendi aralarında yapılan korelasyon çözümlenmelerine göre ise, zaman kullanımı ile zaman planlama arasında ($r=0,180$ $p<0,05$) olumlu yönlü düşük şiddette anlamlı ilişki bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre, bürolardaki çalışan mimarların zamanı planlama eğilimi arttıkça, zamanı etkili kullanma oranları da artmaktadır. Zamandan tasarruf değişkeni ile zamanı planlama arasında ($r=0,176$ $p<0,05$) olumlu yönlü düşük şiddette, zaman kullanımı arasında ($r=0,323$ $p=0,01$) olumlu yönlü orta şiddette anlamlı ilişki bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, bürolarda çalışan mimarların zamandan tasarruf sağladıkça zaman planlamanın ve etkili zaman kullanımının arttığını göstermektedir. Zaman tuzakları değişkeni ile zamanı planlama arasında ($r=0,394$ $p<0,01$) olumlu yönlü orta şiddette, zaman kullanımını arasında ($r=0,340$ $p<0,01$) olumlu yönlü orta şiddette, zamandan tasarruf arasında ($r=0,291$ $p<0,01$) olumlu yönlü orta şiddette anlamlı ilişki bulunmaktadır. Bu sonuçlara göre, zaman tuzaklarından uzaklaşıldıkça, zamanı planlama, zamanın kullanımı ve zamandan tasarruf yapılması artmaktadır. İletişim değişkeni ile zamanı planlama arasında ($r=0,230$ $p<0,01$) olumlu yönlü orta şiddette, zaman tuzakları arasında ($r=0,223$ $p<0,01$) olumlu yönlü orta şiddette anlamlı ilişki bulunmaktadır. Elde edilen verilere göre, mimarlar arasında iletişim arttıkça zamanı planlama artmakta, zaman tuzaklarından uzaklaşmaktadır

Tablo 6. Katılımcıların Çalışma Deneyimi Zaman Yönetimi Davranışları Regresyon Çözümlemesi Sonuçları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler	B katsayısı	Stn.Spm	Beta	T	Sign.t*
Çalışma Deneyimi	Zamanı Planlama	0.081	0.058	0.114	1.398	0.164
	Zaman Kullanımı	-0.008	0.056	-0.012	-0.150	0.881
	Zamandan Tasarruf	-0.124	0.042	-0.240	-2.926	0.004
	Zaman Tuzakları	-0.042	0.039	-0.091	-1.062	0.290
	İletişim	-0.030	0.076	-0.032	-0.399	0.690
	Sabit Sayı	6.062	1.038		5.840	0,000

F: 2.971; Sign. F*: 0.013; R²: 0.081; Durbin-Watson: 1.627; Df: 173

*0.05 önemlilik düzeyi

4.4. Zaman Yönetimine İlişkin Regresyon Çözümlemeleri

İki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve derecesini belirten korelasyon çözümlenmeleri sonrasında, mimarların zaman yönetimine ilişkin davranışlarının ölçülmesi için regresyon çözümlenmeleri yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında belirlenmiş olan zaman yönetimi davranışlarının her biri bağımlı değişken, diğer davranışlarda bağımsız olduğunda aralarındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Tablo 9'da regresyon çözümlenmelerinin sonuçları görülmektedir. Zaman

yönetimi değişkenlerine ilişkin birinci regresyon denkleminde, zamanı planlama bağımlı değişken olarak, zaman kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişimde bağımsız değişkenler olarak incelenmiştir. Yapılan çözümlenmede, zaman kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim değişkenleri için elde edilen R² (0.178)'dir. Buna göre bu bağımsız değişkenler zamanı planlamanın 0.18'ini açıklamaktadır. Bir başka anlatımla, zamanı planlama %18 oranında zaman kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim değişkenlerini açıklamaktadır.

Tablo 7. Katılımcıların Çalıştıkları Büro Faaliyet Yılı Anova Testi Sonuçları

	Büronun Faaliyet Yılı	N	X	SS	F	P
Zamanı Planlama	1-5	44	9.2727	2.48122	0.702	0.648
	6-10	27	9.2593	2.94295		
	11-15	25	9.2400	2.75802		
	16-20	30	8.7333	2.47656		
	21-25	19	8.7895	2.76041		
	26-30	12	7.7500	2.30119		
	31 ve üzeri	17	8.6471	2.99877		
	Toplam	174	8.9540	2.65516		
Zaman Kullanımı	1-5	44	15.1364	2.62892	2.706	0.016
	6-10	27	16.0370	2.37748		
	11-15	25	15.9600	2.31805		
	16-20	30	15.1667	2.29066		
	21-25	19	13.2632	3.57215		
	26-30	12	14.8333	1.58592		
	31ve üzeri	17	14.4118	3.57174		
	Toplam	174	15.1034	2.74350		
Zamandan Tasarruf	1-5	44	20.0455	3.53030	1.613	0.146
	6-10	27	20.2222	3.16633		
	11-15	25	20.0000	3.52373		
	16-20	30	19.7000	3.28161		
	21-25	19	18.5789	4.63460		
	26-30	12	18.7500	2.86436		
	31 ve üzeri	17	17.4706	4.44575		
	Toplam	174	19.5057	3.66793		
Zaman Tuzakları	1-5	44	19.1818	4.88125	1.133	0.345
	6-10	27	18.1852	3.63780		
	11-15	25	18.8800	3.45591		
	16-20	30	17.7667	3.62637		
	21-25	19	17.4211	4.75296		
	26-30	12	19.0833	3.17543		
	31 ve üzeri	17	16.7059	4.42669		
	Toplam	174	18.2989	4.15346		
İletişim	1-5	44	7.9091	2.23937	0.252	0.958
	6-10	27	7.9630	1.87045		
	11-15	25	7.7600	2.00582		
	16-20	30	7.6667	1.66782		
	21-25	19	8.0526	1.98533		
	26-30	12	8.4167	1.72986		
	31 ve üzeri	17	8.0000	2.17945		
	Toplam	174	7.9138	1.96752		

Tablo 8. Katılımcıların Çalıştıkları Büro Faaliyet Yılı Zaman Yönetimi Davranışları Regresyon Çözümlemesi Sonuçları

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler	B katsayısı	Stn.Spm	Beta	T	Sign.t*
Büro Faaliyet Yılı	Zamanı Planlama	-0.063	0.061	-0.085	-1.035	0.302
	Zaman Kullanımı	-0.063	0.058	-0.087	-1.073	0.285
	Zamandan Tasarruf	-0.101	0.044	-0.188	-2.283	0.024
	Zaman Tuzakları	-0.026	0.041	-0.055	-0.644	0.520
	İletişim	-0.130	0.079	-0.130	-0.399	0.103
	Sabit Sayı	6.255	1.081		1.639	0,000

F: 2.777; Sign. F*: 0.019; R²: 0.081; Durbin-Watson: 1.920; Df: 173

Buna göre regresyon eşitliği Denklem (4) gibi kurulabilir:

Y4=Zamanı Planlama

X2= Zaman Kullanımı

X3= Zamandan Tasarruf

X4= Zaman Tuzakları

X5=İletişim

$$Y4 = 2.571 + 0.034X2 + 0.017X3 + 0.219X4 + 0.192X5 \quad (4)$$

Zaman yönetimi değişkenlerine ilişkin ikinci regresyon denkleminde, zamanı kullanımı bağımlı değişken olarak, zamanı planlama, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişimde bağımsız değişkenler olarak incelenmiştir. Yapılan çözümlemede, zamanı planlama, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim değişkenleri için elde edilen R² (0.172)'dir. Buna göre bu bağımsız değişkenler zaman kullanımının 0.17'sini açıklamaktadır. Bir başka anlatımla, zaman kullanımı %17 oranında zamanı planlama, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim değişkenlerini açıklamaktadır.

Buna göre regresyon eşitliği Denklem (5) gibi kurulabilir:

Y5= Zaman Kullanımı

X1= Zamanı Planlama

X3= Zamandan Tasarruf

X4= Zaman Tuzakları

X5=İletişim

$$Y5 = 8.098 + 0.037X1 + 0.018X3 + 0.168X4 + 0.012X5 \quad (5)$$

Zaman yönetimi değişkenlerine ilişkin üçüncü regresyon denkleminde, zamandan tasarruf bağımlı değişken olarak, zamanı planlama, zaman kullanımı, zaman tuzakları ve iletişimde bağımsız değişkenler olarak incelenmiştir. Yapılan çözümlemede, zamanı planlama, zaman kullanımı, zaman tuzakları ve iletişim değişkenleri için elde edilen R² (0.187)'dir. Buna göre bu bağımsız değişkenler zamandan tasarrufun 0.19'unu açıklamaktadır. Bir başka anlatımla, zamandan tasarruf %19 oranında zamanı planlama, zaman kullanımı, zaman tuzakları ve iletişim değişkenlerini açıklamaktadır.

Buna göre regresyon eşitliği Denklem (6) gibi kurulabilir:

Y6= Zamandan Tasarruf

X1= Zamanı Planlama

X2=Zaman Kullanımı

X4= Zaman Tuzakları

X5= İletişim

$$Y6 = 8.788 + 0.033X1 + 0.316X2 + 0.136X4 + 0.401X5 \quad (6)$$

Zaman yönetimi değişkenlerine ilişkin dördüncü regresyon denkleminde, zaman tuzakları bağımlı değişken olarak, zamanı planlama, zaman kullanımı, zamandan tasarruf ve iletişimde bağımsız değişkenler olarak incelenmiştir. Yapılan çözümlemede, zamanı planlama, zaman kullanımı, zamandan tasarruf ve iletişim değişkenleri için elde edilen R² (0.258)'dir. Buna göre bu bağımsız değişkenler zaman tuzaklarının 0.26'sini açıklamaktadır. Bir başka anlatımla, zaman tuzakları %26 oranında zamanı planlama, zaman kullanımı, zamandan tasarruf ve iletişim değişkenlerini açıklamaktadır.

Tablo 9. Zaman Yönetimi Etmenleri Korelasyon Çözümlemesi

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Yaş Grubu	1								
2. Çalışma Deneyimi	0.820**	1							
3. Çalışan Sayısı	0.055	0.098	1						
4. Büronun Faaliyet Yılı	0.180*	0.175*	0.489**	1					
5. Zamanı Planlama	0.001	0.026	-0.190*	-0.125	1				
6. Zaman Kullanımı	-0.035	-0.105	-0.041	-0.164*	0.180*	1			
7. Zamandan Tasarruf	-0.299**	-0.260**	-0.075	-0.210**	0.176*	0.323**	1		
8. Zaman Tuzakları	-0.071	-0.127	-0.064	-0.144	0.394**	0.340**	0.291**	1	
9. İletişim	-0.082	-0.097	0.057	0.031	0.230**	0.143	0.289	0.223**	1

Tablo 10. Zaman Yönetimi Etmenleri Regresyon Çözümlemesi

Bağımlı Değişkenler	Bağımsız Değişkenler	B katsayısı	Stn.Spm	Beta	T	Sign.t*
Zamanı Planlama	Zaman Kullanımı	0.034	0.074	0.035	0.460	0.646
	Zamandan Tasarruf	0.017	0.056	0.024	0.310	0.757
	Zaman Tuzakları	0.219	0.049	0.343	4.486	0.000
	İletişim	0.192	0.099	0.142	1.926	0.056
	Sabit Sayı	2.571	1.356		1.895	0,060
F: 9.177; Sign. F*: 0.000; R ² : 0.178; Durbin-Watson: 2.002; Df: 173						
Zaman Kullanımı	Zamanı Planlama	0.037	0.080	0.035	0.460	0.646
	Zamandan Tasarruf	0.180	0.056	0.241	3.189	0.002
	Zaman Tuzakları	0.168	0.052	0.254	3.223	0.002
	İletişim	0.012	0.104	0.009	0.115	0.908
	Sabit Sayı	8.098	1.278		6.335	0.000
F: 8.769; Sign. F*: 0.000; R ² : 0.172; Durbin-Watson: 1.988; Df:173						
Zamandan Tasarruf	Zamanı Planlama	0.033	0.106	0.024	0.310	0.757
	Zaman Kullanımı	0.316	0.099	0.236	3.189	0.002
	Zaman Tuzakları	0.136	0.070	0.154	1.929	0.055
	İletişim	0.401	0.135	0.215	2.982	0.003
	Sabit Sayı	8.788	1.758		5.000	0.000
F: 9.745; Sign. F*: 0.000; R ² : 0.187; Durbin-Watson: 2.008; Df:173						
Zaman Tuzakları	Zamanı Planlama	0.485	0.108	0.310	4.486	0.000
	Zaman Kullanımı	0.345	0.107	0.228	3.223	0.002
	Zamandan Tasarruf	0.159	0.082	0.140	1.929	0.055
	İletişim	0.166	0.149	0.079	1.114	0.267
	Sabit Sayı	4.337	2.010		2.157	0.032
F: 14.689; Sign. F*: 0.000; R ² : 0.258; Durbin-Watson: 1.945; Df: 173						
İletişim	Zamanı Planlama	0.112	0.058	0.151	1.926	0.056
	Zaman Kullanımı	0.007	0.057	0.009	0.115	0.908
	Zamandan Tasarruf	0.125	0.042	0.232	2.982	0.003
	Zaman Tuzakları	0.044	0.039	0.930	1.114	0.267
	Sabit Sayı	3.577	1.012		3.534	0.001
F: 5.978; Sign. F*: 0.000; R ² :0.124; Durbin-Watson: 2.127; Df: 173						

*0.05 önemlilik düzeyi

Buna göre regresyon eşitliği Denklem (7) gibi kurulabilir:

Y7= Zaman Tuzakları

X1= Zamanı Planlama

X2= Zaman Kullanımı

X3= Zamandan Tasarruf

X5=İletişim

$$Y7 = 4.337 + 0.485X1 + 0.345X2 + 0.159X3 + 0.166X5 \quad (7)$$

Zaman yönetimi değişkenlerine ilişkin beşinci regresyon denkleminde, iletişim bağımlı değişken olarak, zamanı planlama, zaman kullanımı, zamandan tasarruf ve zaman tuzakları bağımsız değişkenler olarak

incelenmiştir. Yapılan çözümlemede, zamanı planlama, zaman kullanımı, zamandan tasarruf ve zaman tuzakları değişkenleri için elde edilen R² (0.124)'dir. Buna göre bu bağımsız değişkenler iletişimin 0.12'sini açıklamaktadır. Bir başka anlatımla, zaman tuzakları %12 oranında zamanı planlama, zaman kullanımı, zamandan tasarruf ve zaman tuzakları değişkenlerini açıklamaktadır.

Buna göre regresyon eşitliği Denklem (8) gibi kurulabilir:

Y8= İletişim

X1= Zamanı Planlama

X2= Zaman Kullanımı

X3= Zamandan Tasarruf

X4=Zaman Tuzakları

$$Y8 = 3.577 + 0.112X1 + 0.007X2 + 0.125X3 + 0.044X4 \quad (8)$$

Değişkenler arasındaki öngörülen ilişkinin uyum iyiliği olarak tanımlanan F testinin sonuçları, zaman yönetimi değişkenlerinin aralarındaki çeşitli düzeylerde ilişki olduğunu destekler niteliktedir (sign F=0.000≤0.005). Çözümlemede yer alan her bir bağımlı değişken ve bağımsız değişkenlerin sonuca etkisini belirleyen kısmi regresyon katsayılarına bakıldığında, bazı değişkenler arasında olumlu yönlü doğrusal bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu ilişkilerin bazıları Tablo 10'da görüldüğü gibi önemli düzeyde bazıları ise önemsiz düzeyde kalmaktadır.

Tablo 11'deki bağımlı ve bağımsız değişkenlerin sağladığı katkılara baktığımızda, her bir değişkenin bağımlı değişken olduğu durumda diğer bağımsız değişkenlerle ilişkilerinin farklı düzeylerde olduğu görülmektedir. Örneğin, zamanı planlamanın bağımlı değişken olması durumunda sadece zaman tuzaklarıyla önemli düzeyde ilişkisi olduğu görülmektedir. Zaman kullanımının bağımlı değişken olması durumunda ise zamandan tasarruf ve zaman tuzakları bağımsız değişkenleri ile önemli düzeyde ilişkisi olduğu görülmektedir. Benzer biçimde zamandan tasarrufun zaman kullanımı ve iletişim ile, zaman tuzaklarının zamanı planlama ve zamanın kullanımı ile, iletişim

bağımlı değişkeninin de sadece zamandan tasarruf bağımsız değişkeni arasında önemli düzeyde ilişkileri olduğu görülmektedir.

Çözümlemede yer alan her bir bağımlı ve bağımsız değişkenin sonuca etkisini belirleyen kısmi regresyon kat sayılarına (b) bakıldığında, değişkenler arasında da bir sıralama olduğu görülmektedir. Tablo 12'da söz konusu sıralama görülmekte olup elde edilmiş olan değerleri karşılaştırdığımızda en yüksek (b) değerinin zamanı planlama bağımlı değişkeni ile zaman tuzakları bağımsız değişkenine ait olduğu görülmektedir (0.343). Söz konusu ilişkinin zaman tuzaklarının bağımlı değişken zamanı planlamanın bağımsız değişken olduğu durumda da devam ettiği ve önemlilik sıralamasında ikinci sırada olduğu görülmektedir (0.310). Elde edilen sıralamada, iki değişken arasında önemli düzeyde bir ilişki olmasının, bağımlı değişkenin bağımsız değişken olması durumunda da devam ettiği görülmektedir. Bununla birlikte sıralama zamanı planlama ve zaman tuzaklarında olduğu gibi yakın değerlerde ve birbiri peşine sıralanmaları da söz konusu olmamıştır. Elde edilen diğer veriler bağımlı ya da bağımsız değişken olarak zaman kullanımı ile zaman tuzakları ve zamandan tasarruf, iletişim ile zamandan tasarruf arasında önemli düzeyde ilişki olduğunu göstermektedir.

Tablo 11. Bağımlı ve Bağımsız Değişkenlerin Sağladığı Katkılar

Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler	Beta	Signf. T	Katkı Derecesi
Zamanı Planlama	Zaman Kullanımı	0.035	0.646	ÖNEMSİZ
	Zamandan Tasarruf	0.024	0.757	ÖNEMSİZ
	Zaman Tuzakları	0.343	0.000	ÖNEMLİ
	İletişim	0.142	0.056	ÖNEMSİZ
Zaman Kullanımı	Zamanı Planlama	0.035	0.646	ÖNEMSİZ
	Zamandan Tasarruf	0.241	0.002	ÖNEMLİ
	Zaman Tuzakları	0.254	0.002	ÖNEMLİ
	İletişim	0.009	0.908	ÖNEMSİZ
Zamandan Tasarruf	Zamanı Planlama	0.024	0.757	ÖNEMSİZ
	Zaman Kullanımı	0.236	0.002	ÖNEMLİ
	Zaman Tuzakları	0.154	0.055	ÖNEMSİZ
	İletişim	0.215	0.003	ÖNEMLİ
Zaman Tuzakları	Zamanı Planlama	0.310	0.000	ÖNEMLİ
	Zamanın Kullanımı	0.228	0.002	ÖNEMLİ
	Zamandan Tasarruf	0.140	0.055	ÖNEMSİZ
	İletişim	0.079	0.267	ÖNEMSİZ
İletişim	Zamanı Planlama	0.151	0.056	ÖNEMSİZ
	Zaman Kullanımı	0.009	0.908	ÖNEMSİZ
	Zamandan Tasarruf	0.232	0.003	ÖNEMLİ
	Zaman Tuzakları	0.093	0.267	ÖNEMSİZ

Tablo 12. Bağımlı ve Bağımsız Değişkenlerin Önemlilik Sıralaması

Sıra	Bağımlı Değişken	Bağımsız Değişkenler	Beta	Signf. t	Katkı Derecesi
1	Zamanı Planlama	Zaman Tuzakları	0.343	0.000	ÖNEMLİ
2	Zaman Tuzakları	Zamanı Planlama	0.310	0.000	ÖNEMLİ
3	Zaman Kullanımı	Zaman Tuzakları	0.254	0.002	ÖNEMLİ
4	Zaman Kullanımı	Zamandan Tasarruf	0.241	0.002	ÖNEMLİ
5	Zamandan Tasarruf	Zaman Kullanımı	0.236	0.002	ÖNEMLİ
6	İletişim	Zamandan Tasarruf	0.232	0.003	ÖNEMLİ
7	Zaman Tuzakları	Zaman Kullanımı	0.228	0.002	ÖNEMLİ
8	Zamandan Tasarruf	İletişim	0.215	0.003	ÖNEMLİ

5. Bulguların Varsayımlar Doğrultusunda Tartışılması

Varsayım 1: Zaman yönetimi etmenlerinden en az bir ölçek yaşa göre anlamlı farklılık göstermesi öngörülmektedir.

Varsayım 2: Zaman yönetimi etmenlerinden en az bir ölçek çalışma deneyimine göre anlamlı farklılık göstermesi öngörülmektedir.

Zaman yönetimi etmenlerinden zamandan tasarruf ölçeği ile yaş ve çalışma deneyimi arasında anlamlı farklılık olduğu yapılan çözümlemelerin sonuçlarında görülmektedir ($p<0,05$). Zaman, herkesin eşit şekilde sahip olduğu, alınıp çoğaltılamayan yalnızca tüketilen bir kaynaktır. Bu nedenle, zamanı etkin kullanmaya yönelik davranış ve teknikler kullanılarak zamandan tasarruf sağlanabilir (Akataş, 2003). Fidan (2011) tarafından yapılmış olan çalışmada olduğu gibi, farklı gruplara yönelik çalışmalardan yola çıkılarak mimarların yaşları ve çalışma deneyimleri ilerledikçe, edindikleri birikimle zamandan tasarruf sağlamayı öğrenerek, artan yaş ve deneyimleri ışığında zamandan tasarruf sağlayacak yaklaşımlar geliştirmekte olduğu görülmektedir. Elde edilen korelasyon çözümlemesine sonuçlarına göre yaş ve çalışma deneyiminin artmasıyla zaman tasarrufuna yönelik davranışlardan olumlu yönde gelişme olmaktadır. Öte yandan, zamanı planlama, zamanın kullanımı, zaman tuzakları ve iletişimin geliştirilmesi konusunda, yıllar geçtikçe edindikleri deneyimi, zaman yönetimi davranışlarını geliştirmek yönünde yeterince kullanmadığı görülmektedir. Zaman yönetiminin başarılı bir biçimde uygulanabilmesi için, tüm etmenlerin bir bütün olarak uygulanması önemlidir. Bu çerçevede, zaman yönetimini mimarların etkin bir biçimde uygulamadığı görülmektedir. Yaş ve çalışma deneyiminin artmasının zaman yönetimi açısından olumlu bir etkisinin olmadığı sonucuna varılmaktadır.

Varsayım 3: Zaman yönetimi etmenlerinden en az bir ölçek katılımcıların çalıştığı büronun faaliyet yılına göre anlamlı farklılık göstermesi öngörülmektedir.

Zaman yönetimi etmenlerinden zaman kullanımı ölçeği ile mimarların çalıştıkları büroların faaliyet yılları arasında anlamlı farklılık olduğu görülmektedir ($p<0,05$). Mimarlık bürolarının kurucuları da mimarlar olduğu için zaman yönetimi konusunda mimarların geçen süre ile ilerleyen yaşları ve edindikleri deneyimle zamandan tasarruf etmeyi öğrenmiş olmalarını destekleyecek biçimde büronun faaliyet yılının artmasıyla zamandan tasarruf edecek yaklaşımlar geliştirmeyi öğrendikleri görülmektedir. Mimarların yıllar içinde zamandan tasarruf etmeyi öğrendiklerini destekleyecek sonuçlara ulaşılmıştır. Mimari tasarım süreci oldukça karmaşık olup, büronun faaliyete geçmesinden sonra, zaman içinde edindikleri deneyimin mimarların zaman yönetimi davranışlarına da olumlu etkileri olduğu, bununla birlikte zaman yönetiminin mimarlık bürolarında etkin bir biçimde yeterince uygulanmadığı görülmektedir. Elde edilen sonuçlar, mimarların zaman olgusundan daha çok projenin başarısına odaklandığı ve zaman içinde başarılı olan ve kendisini kabul ettiren mimarların zaman konusunda daha da rahat davranmaya başladıklarını düşündürmektedir.

Varsayım 4: Zaman yönetimi ile ilgili belirlenen zamanı planlama, zamanın kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim değişkenlerinin birbirleri arasında anlamlı ve olumlu bir ilişki olduğu öngörülmektedir.

Yapılan çözümlemeler sonucunda zamanı planlama ile zaman kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ile iletişim arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, mimarların zamanı etkili yönetebilmesi için zaman planlamanın önemli olduğunu göstermektedir. Yapılan regresyon çözümlemelerinde ise özellikle zamanı planlama ve zaman tuzakları arasında önemli bir ilişki elde edilmiştir. Hedeflerin açık ve net olarak ortaya konmasından başlayarak yapılan zaman planlaması başarılı sonuçlara ulaşmak için

önemlidir (George, 2012). Elde edilen sonuçlar, zamanını iyi planlayan bir mimarın özellikle zaman tuzaklarına düşmeyeceğini göstermektedir. Zamanını etkili planlayan bir mimar zaman yönetiminin diğer etmenlerini de başarıyla yürütebilmektedir (Onunze, 2015). Bu çerçevede, zamanını verimli kullanmakta, zamandan tasarruf elde edebilmekte, zaman tuzaklarına düşmeden zamanını etkili yönetebilmekte, iletişimi de bu doğrultuda doğru bir biçimde kullanabilmektedir.

Zaman kullanımı etmeni ile zamandan tasarruf ve zaman tuzağı arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Yapılan regresyon çözümlenmeleri de bu sonucu desteklemiştir, zaman kullanımının bağımlı ya da bağımsız değişken olması durumunda zamandan tasarruf ya da zaman tuzağı ile önemli düzeyde bir ilişkilerinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Zamanı etkin kullanmak için yapılan bilinçli çabalar hem yöneticiler hem de iş görenlere işteki verimi arttıracak pek çok yararı bulunmaktadır (Akatay, 2003). Bu kapsamda, elde edilen sonuçları, mimarların zamanını etkili kullandıklarında zamandan tasarruf sağlayacakları, zaman tuzaklarına düşmeyecekleri biçiminde yorumlamak mümkündür.

Zamandan tasarruf ile zaman tuzakları etmenleri arasında bulunan ilişkiler ise, mimarların zaman tuzaklarına düşmedikleri zamandan tasarruf sağlayarak zamanı daha etkili kullandıkları biçiminde yorumlanabilir. Zaman tuzaklarına düşmek, çalışma yaşamında işin planlanan süreden daha uzun sürede tamamlanmasının en önde gelen nedenlerinden biridir (Onunze, 2015). Zamanın etkili kullanılmasını ve yönetilmesini güçleştirerek zaman kayıplarına sebep olan zaman tuzakları, kişilerin sosyal ilişkilerinden, kişisel ve kültürel özelliklerden kaynaklanabilmektedir (Akyüz ve diğ., 2015). Mimarlar çalışma yaşamlarında zaman tuzaklarına düşmemeyi öğrendikçe, zamandan tasarruf etmektedirler.

Zaman tuzakları ile iletişim arasında bulunan ilişki ise, zaman tuzaklarına düşmeden zamanın etkili kullanılabilmesi için iletişimin önemli bir araç olduğunu göstermektedir. İletişimde açık, yalın ve anlaşılır bir dil kullanılması zamanın etkili kullanımı açısından önemlidir (Erdem ve Kaya,1998). Elde edilen veriler çerçevesinde, iletişimin etkili kullanılmasının, zaman tuzaklarına düşülmesinin öne geçeceği, bu çerçevede zamanın etkili yönetimin gerçekleştirilebilmesi için önemli bir araç olduğunu göstermektedir.

Yapılan regresyon çözümlenmeleri iletişim ve zamandan tasarruf arasında da önemli bir ilişki olduğunu göstermektedir. Bu sonuca göre çalışanların iletişim kanallarını doğru bir biçimde kullanmasının zamandan tasarruf edilmesini sağlayacağı anlaşılmaktadır. Günümüzde iletişim kanallarının çeşitli türleri olduğu ve iletişim hızı düşünüldüğünde bu kanalları doğru bir biçimde kullanan mimarların birçok anlaşmazlığın

önüne geçeceği ve zamandan tasarruf sağlayacağı biçiminde yorumlanabilir.

6. Tartışma ve Sonuç

Zaman yönetimi tüm örgütler gibi mimari tasarım sürecinin yürütüldüğü mimarlık büroları içinde önemlidir. Bu çalışma kapsamında, mimarların zaman yönetimi davranışlarının değerlendirilmesi hedeflenmektedir. Mimarlık gibi yaratıcılığı da içeren mesleklerde yaratıcılığın etkili zaman yönetimi ile arttığını gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Zampetakis, Bouranta ve Moustakis, 2010). Elde edilen sonuçlar, mimarların zamanın etkin kullanımı konusunda yeterli düzeyde farkındalıkları olmadığı biçiminde yorumlanabilir. Bu sonuçlar, Soh (2003) tarafından yapılmış olan çalışmayla uyumlu değildir. Söz konusu çalışmada, mimarların zaman yönetiminin önemi konusunda daha yüksek bir farkındalığı olduğu sonucuna varılmıştır (Soh, 2003). Bununla birlikte, Smitheram ve Kid (2020), öğrenci ve akademisyen mimar grubuyla yaptıkları çalışma sonucunda farklı gruplarla farklı sonuçlara ulaşılması olasılığı üzerinde durmuşlardır. Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, zaman yönetimi davranışları bakımından firma sahibi/ortağı veya çalışan açısından benzer özellikler gösterdiğini ortaya çıkarmıştır. Mimarlar işveren ya da iş görende olsalar benzer davranışlar göstermekte, konularının zaman yönetimi davranışlarına bir etkisi bulunmamaktadır.

Zaman, çağdaş yönetim anlayışında kaynaklar içinde önemli bir üretim etkeni olup, verimli kullanılması etkin bir yönetim yaklaşımı geliştirmek ile olanaklıdır. Onunze (2015) tarafından yapılmış çalışmada da ifade edildiği gibi, mimarlık bürolarında projelerin başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesi için zamanın etkili bir biçimde yönetilmesi gerekmektedir. Bu çabaların örgütsel ve bireysel düzeylerde birlikte yürütülmesiyle başarılı sonuçlar elde edilmesi söz konusudur. Bu çalışma kapsamında, mimarlık bürolarında çalışan işveren ve iş gören mimarların bireysel olarak zaman yönetimi davranışlarına odaklanılmış, ancak örgütsel düzeydeki önemi de vurgulanmaya çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar, zaman yönetimine ait belirlenen zamanı planlama, zamanın kullanımı, zamandan tasarruf, zaman tuzakları ve iletişim değişkenleri arasında yüksek ve çok yüksek düzeyde anlamlı ilişkiler olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada elde edilen bulgular çerçevesinde, zaman yönetiminin etkili bir biçimde yürütülebilmesi için zaman yönetiminin tüm bileşenlerine eşit oranda önem verilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.

Günümüzde, zamanın verimli bir şekilde kullanılması için iyi bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Proje başlangıcında belirlenen hedefler doğrultusunda işlerin zaman etkeni dikkate alınarak planlanması ve yönetilmesi ile başarıya ulaşılabilecektir. Karmaşık bir

yapıya sahip olan yapı üretim sektöründe, projelerde yaşanabilecek sorunların en aza indirilmesinde, projelerin başlangıcı olan mimarlık bürolarının önemi büyüktür. Zaman yönetimi süreçlerinin başarılı bir şekilde uygulanması ile projelerin hedefler doğrultusunda başarılı bir şekilde gerçekleştirilmesinin daha kolay olacağı açıktır.

Araştırmacıların Katkısı

Bu araştırmada; Yazar1, anketin tasarımı, literatür araştırması, veri toplama; Yazar2, danışmanlık, çözümleme, eleştirel incelemede katkı sağlamışlardır.

Çıkar Çatışması

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Adair, J. (2018). *Etkili zaman yönetimi*. İstanbul: Babıali Kültür Yayıncılığı.

Akatay, A. (2003). Örgütlerde zaman yönetimi. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 10, 281-300. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/susbed/issue/61774/923492>

Akdemir, A. ve İnal, İ.H. (2022). Pandemi sürecindeki zaman yönetimi ve çalışan performansı ilişkisinde işe adanmışlık kavramının aracı rolü. *İşletme Araştırmaları Dergisi*, 14(1), 931-946. doi:10.20491/isarder.2022.1419

Akyüz, B., Ünal, Ö., F., Mete, M. ve Doger, F. (2015). İnşaat sektöründe zaman yönetimi: Irak'ın kuzeyindeki Türk şantiyeleri üzerine bir araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 21(1), 85-106. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sbe/issue/23146/247226>

Akyüz, M., Yılmaz, F. T. ve Aldemir, K. (2020). Zaman yönetim becerilerinin akademik başarı ile ilişkisi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(73), 414-424. doi:10.17755/esosder.579867

Alay, S. ve Koçak, S. (2003). Üniversite öğrencilerinin zaman yönetimleri ile akademik başarıları arasındaki ilişki. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Yönetimi*, 35(35) 326-335. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kuvey/issue/10362/126846>

Alay, S. ve Koçak, S. (2002). Validity and reliability of time management questionnaire. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22, 9-13. Erişim adresi:

<http://efdergi.hacettepe.edu.tr/yonetim/icerik/makaleler/920-published.pdf>

Andrews, J. (1996). Creative ideas take time: business practices that help product managers cope with time pressure. *Journal of Product & Brand Management*, 5 (1) 6-18.

Bayramlı, Ü. Ü. (2017). *Zaman yönetimi*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

Bovteev, S. V. ve Kanyukova, S.V. (2016). Development of methodology for time management of construction projects. *Magazine of Civil Engineering*, 2(62), 102-112. doi: 10.5862/MCE.62.10

Caven, V. ve Raiden, A. (2010) Work-life balance among architects. *26th Yıllık ARCOM Konferansı Bildiri Kitabı*, 533-542, Leeds, UK.

Chin, L. S. ve Hamid A. R. A. (2015). The practice of time management on construction project. *Procedia Engineering*, 125, 32 - 39. doi: 10.1016/j.proeng.2015.11.006

Claessens, B.J.C., van Erde, W., Rutte, C. G. ve Roe, R.A. (2007). A review of the time management literature. *Personnel Review*, 36(2), 255-276. doi: 10.1108/00483480710726136

Çelik, A., Şimşek, M. Ş., ve Soysal, A. (2016). *Zaman yönetimi: yönetsel zamanda etkinlik*. Konya: Eğitim Kitabevi.

Çıracıoğlu, A. S. ve Yaman, H. (2021). BIM based time management among construction contractors in Turkey: an interview study. *Periodica Polytechnica Architecture*, 52(2), 192-204. doi: 10.3311/PPar.17918

Çivici, T. (2016). İş doyumunu, demotivasyon faktörlerini ve tükenmişlik arasındaki ilişki: mimarlar üzerine bir araştırma. *Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 18(2), 131-150. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/trakyasobed/issue/30207/326001>

Dağlı, A. (2000). Zaman yönetimi. *Eğitim ve Bilim*, 25(117), 42-49. Erişim adresi <http://egitimvebilim.ted.org.tr/index.php/EB/issue/view/102>

Demir, E. (2016). Çalışanların zaman yönetimi becerilerinin işletme verimliliği üzerindeki etkisi: Aşkale Gümüşhane çimento fabrikası uygulaması. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Gümüşhane

Demirel, T. E. ve Ramazanoğlu, F. (2005). Yöneticiler açısından etkin zaman yönetimi tekniklerinin değerlendirilmesi. *Fırat Üniversitesi Doğu*

- Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 30-35. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/fudad/issue/47056/591933>
- Dmytryshyn, M. ve Goran, T. (2022). Proposal of an effective time management system. *Management*, 27(2), 283-298. doi: 10.30924/mjcmi.27.2.15
- Durmaz, M., Hüseyinli, T. ve Güçlü, C. (2016). Zaman yönetimi ile akademik başarı arasındaki ilişki. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, 5(7), 2291-2303. doi: 10.15869/itobiad.260266
- Efil, İ. (2015). *İşletmelerde yönetim ve organizasyon*. Bursa: Dora Yayıncılık.
- Elmezaini, N. (2015). Time management in engineering consulting firms. *Journal of Engineering Research and Technology*, 2(2), 105-111. Erişim adresi <https://journals.iugaza.edu.ps/index.php/JERT/article/view/1644/1577>
- Erbil, Y. ve Akıncıtürk, N. (2010). Mimarlık ofislerinin yenilikçilik sürecinde; kullanıcı ve müşterilerin stratejik rolü üzerine kalitatif bir araştırma deneyimi. *Megaron*, 5(1), 43-50. Erişim adresi: <https://megaronjournal.com/tr/jvi.aspx?pdiref=megaron&plng=tur&un=MEGARON-63004>
- Erdem, R. ve Kaya, S. (1998). Zaman yönetimi. *Çağdaş Yerel Yönetimler Dergisi*, 7(2), 99-120.
- Eroğlu, F. ve Bayrak, S. (1994). Örgüt faaliyetleri açısından zaman yönetimi. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 10(3-4), 255-270. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/atauniibd/issue/2678/35107>
- Farouk, A., Ahmed, H. A. E. ve Abd-Elazeem, A. M. (2023). The Efficiency of time management during the design process for residential buildings to achieve sustainable project management. *International Journal of Architectural Engineering and Urban Research*, 6(2), 255-270. doi:10.21608/IJAEUR.2024.261534.1062
- Farrell, M. (2017) Time management. *Journal of Library Administration*, 57(2), 215-222. doi: 10.1080/01930826.2017.1281666
- Fidan, Y. (2011). Özel sektör ve kamu yöneticilerinin zaman yönetimi davranışlarının karşılaştırılması. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 6, 47-74. doi: 10.14520/adyusbd.117
- Fitsimmons, G. (2008). Time management part I: goal setting as a planning tool. *The Bottom Line: Managing Library Finances*, 21(2), 61-63. doi: 10.1108/08880450810898328
- George, D. (2012). A Practical Application of Time Management, Time Management, Prof. Todor Stoilov (Ed.), Rijeka, Croatia: InTech. Erişim adresi: <http://www.intechopen.com/books/timemanagement/a-practical-application-of-time-management>
- Grissom, J. A., Loeb, S. ve Mitani, H. (2015). Principal time management skills – Explaining patterns in principals' time use, job stress, and perceived effectiveness. *Journal of Educational Administration*, 53(6), 773-793. doi: 10.1108/JEA-09-2014-0117
- Güçlü, N. (2001). Zaman yönetimi. *Kuram ve Uygulama Eğitim Yönetimi*, 25(25), 87-106. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kuey/issue/10371/126932>
- Karatepe, H., Yüce, U. ve Yıldırım, T. (2020). Zaman yönetimi: Üniversite öğrencileri üzerinde bir araştırma. *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(21), 1-21. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bartiniibf/issue/54672/630924>
- Koch, R. (1998). The 80/20 principle: the secret of achieving more with less. New York: Bantam Doubleday Dell Publishing Group.
- Kıral, E. (2014). Yöneticilik zaman ister. *Çağdaş Yönetim Bilimleri Dergisi*, 1(1), 4-9. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/cybd/issue/50119/643207>
- Küçükaltan, D., Karalar, S. ve Keskin, G. (2013). Etkili zaman yönetimi uygulamalarında yöneticileri engelleyen zaman tuzakları: Edirne il merkezindeki tekstil fabrikalarında görev yapan yöneticiler üzerinde bir araştırma. *KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 15(24), 65-73. Erişim adresi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kmusekad/issue/10212/125489>
- Latif, H., Fidan, F. ve Uçkun, G. (2004). Örgütlerde zaman kaybettiren faktörler: Sorunlar ve çözüm önerileri: bir kamu kurumu örneği. *İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi İşletme İktisadi Enstitüsü, Yönetim Dergisi*. 15(49), 41-53. Erişim adresi: <https://search.trdizin.gov.tr/yayin/detay/4377/>
- Obonadhuze, B. I., Eze, C. E., Siunoje, L. U. ve Sofolaha, O. (2021). Causes and effects of ineffective communication on construction projects. *Borneo Journal of Sciences & Technology*, 3(1), 77-92. doi: 10.3570/bjost.2021.3.1-11
- Olubajo, O., Hughes, W. ve Schweber, L. (2019). Construction programmes and programming: a critical review. *Emerald Reach Proceedings Series*, 2, 189-194. doi: 10.1108/S2516-285320190000002045

- Onunze, C. N. (2015). Time management in architectural practice. *Journal of Environmental Sciences and Resources Management*, 7(1), 75-84. <https://www.cenresinjournal.com/wp-content/uploads/2020/02/Page-75-84-0395.pdf>
- Otter, A.D. & Emmitt, S. (2007). Exploring effectiveness of team communication: balancing synchronous and asynchronous communication in design teams. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 14 (5), 408-419. doi: 10.1108/09699980710780728
- Örücü, E., Tikici, M. ve Kanbur, A. (2007). Farklı sektörlerde faaliyetlerini sürdüren işletmelerde zaman yönetimi üzerine ampirik bir araştırma: Bursa ili örneği. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(20), 9-31. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/esosder/issue/6134/82260>
- Özer, M. A. (2012). Çalışma hayatında zaman tuzakları ve zamanı etkin yönetmek. *HAK-İŞ Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi*, 1(2), 44-75. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/hakisderg/issue/7578/99477>
- Öztürk, H. ve Yıldırım, T. D., (2018). *Ofis yönetimi El Kitabı*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge*. Erişim adresi: <https://www.pmi.org/pmbokguidestandard/foundational/pmbok>
- Reunanen, T., Windahl, R. ve Vanharanta, H. (2016). Innovativeness through time management. *Advances in Human Factors, Business Management, Training and Education. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 498. Cham: Springer. doi: 10.1007/978-3-319-42070-7_27
- Sabuncuoğlu, Z. ve Paşa, P. (2002). *Zaman yönetimi*. Bursa: Ezgi Kitabevi.
- Safonov, Y., Maslennikov, Y. ve Kashubskiy, A. (2017). Time management and its implementation at production companies. *Baltic Journal of Economic Studies*, 3(1), 82-87. Erişim adresi: <https://cyberleninka.ru/article/n/time-management-and-its-implementation-at-production-companies>
- Sainz, M. A., Ferrero, A. M. ve Ugidos, A. (2019). Time management: skills to learn and put into practice. *Education +Training*, 0040-0912. doi: 10.1108/ET-01-2018-0027.
- Sarfraz, H. (2017). Differentiated time management skills between leadership styles: simplified with a cross-cultural approach. *Development and Learning in Organizations*, 31(6),14-18. doi: 10.1108/DLO-02-2017-0009
- Shehu, S. (2021). A review of time management factors in construction project delivery. *Journal of Project Management and Practice*, 1(2), 34-45. doi: 10.22452/jpmp.vol1no2.3
- Smitheram, J. & Kidd, A. N. (2020). On time within an architectural community. *Time & Society*, 29(1), 5-27. doi: 10.1177/0961463X18820737
- Soh, I. (2003). The acquisition and analysis of time management perception in the architectural domain (Doktora Tezi). Graduate Studies of Texas A&M University, Texas.
- Tutar, H. (2020). *Zaman yönetimi*, Ankara: Seçkin Yayıncılık.
- Türkel, S. ve Leblebici, N., D., (2000). Yönetim bilimi açısından zamanın anlamı ve etkili zaman yönetiminin esasları. *Hacettepe Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(1), 351-376. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/huniibf/issue/30223/326880>
- Varga, A.P. (2011). Time management, business issues, competition, and entrepreneurship. UK: Nova Science Publisher.
- Vatan, F. ve Özsoy, S. A. (2002). Zaman yönetimi. *Ege Üniversitesi, Hemşirelik Yüksek Okulu Dergisi*, 18(3), 89-104. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/egehemsire/issue/49617/635954>
- Winch, G. ve Schneider, E. (1993). The strategic management of architectural practice. *Construction Management and Economics*, 11(6), 467-473. doi: 10.1080/01446199300000052
- Wu, D. ve Passerini, K. (2013). Uncovering knowledge-based time management practices – implications for project management. *International Journal of Managing Projects in Business*, 6(2), 332-348. doi: 10.1108/17538371311319052
- Yenihan, B. ve Öner, M. (2013). Zamanı yönetmek: Üniversite öğrencilerinin zaman yönetimi becerilerinin incelenmesi. *Trakya Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi E-Dergi*, 2(2), 56-68. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/bartiniibf/issue/54672/630924>
- Yılmaz, V. ve Düşükcan, M. (2022). Üst düzey yöneticilerde etkin zaman yönetimi: Fırat

Üniversitesi örneği. Fırat Üniversitesi Harput Araştırmaları Dergisi, 9(17), 117-136. Erişim adresi <https://dergipark.org.tr/tr/pub/had/issue/68927/1065767>

Yılmaz, A. ve Aslan, S. (2002). Örgütsel zaman yönetimi. C. Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 3(1), 25-46. Erişim adresi <https://kutuphane.dogus.edu.tr/mvt/pdf.php>

Yılmaz, A. (2015). Örgütsel yaşamda etkin zaman yönetimi. Bursa: Ekin Yayınevi.

Zampetakis, L. A., Bouranta, N., & Moustakis, V. S. (2010). On the relationship between individual creativity and time management. *Thinking skills and creativity*, 5, 23-32. doi:10.1016/j.tsc.2009.12.00