



ISSN 2564-7377 (Online)



**GİRESUN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Giresun University Institute of Natural Sciences**

**The Black Sea Journal of Sciences**

**KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ  
KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ**

**Cilt 14 Sayı 2**

**2024**

**Volume 14 Issue 2**



**K F B D**

<http://www.dergipark.org.tr/kfbd>

**Giresun Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Giresun University  
Institute of Natural Sciences**

**Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi  
The Black Sea Journal of Sciences**

Cilt 14, Sayı 2, Haziran 2024

Volume 14, Issue 2, June 2024

**ISSN: 2564-7377 (Online)**

## **Dergi Hakkında**

Giresun Üniversitesi tarafından yılda dört kez (15 Mart, 15 Haziran, 15 Eylül ve 15 Aralık) yayın yapan dergimiz 2020 yılından itibaren Tübitak - Ulakbim Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı (TR Dizin) Dergi Listesinde taranmaktadır. Yayın hayatına 2010 yılında başlamıştır. Fen, Mühendislik, ve Teknoloji alanlarından gelen eserleri kabul etmektedir. Dergimizde yayınlanmak üzere gönderilen makaleler editör, yayın kurulu ve hakemler (Hakemlerin isimleri yazarlara bildirilmez) tarafından değerlendirilir. Dergimiz, Türkçe veya İngilizce dilinde yazılmış orjinal araştırma makalesi kabul etmektedir. Dergimize gönderilen çalışmaların benzerlik oranı %25'i geçmemelidir. Dergimize gönderilen makaleler için değerlendirme ücreti ve başvuru ücreti alınmamaktadır. Dergimiz, 2017 yılından itibaren sadece elektronik olarak yayın hayatına devam etmektedir

## **About The Journal**

The Black Sea Journal of Sciences is an international peer reviewed journal published four times a year and indexed by national and international databases. The Black Sea Journal of Sciences started its publication life in 2010. Our journal accepts works from science, engineering and technology. Articles submitted for publications in our journal are evaluated by the editor, editorial board and referees (Blind peer review). Our journal accepts original research articles written in Turkish or English. The similarity rate of the studies submitted to our journal should not exceed 25%. There are no evaluation fees or application fees for articles sent to our journal. Starting in 2017, The Black Sea Journal of Sciences will be published electronically only.

## Sahibi / Owner

Prof. Dr. Yılmaz CAN

Giresun Üniversitesi Adına (Rektör)

## Baş Editör / Editor in Chief

Prof. Dr. Bahadır KOZ  
Giresun Üniversitesi (Enstitü Müdürü)

## İstatistik Editörleri / Statistical Editors

Prof. Dr. Erol EĞRİOĞLU  
Prof. Dr. Eren BAŞ

## Editörler / Editors

Doç. Dr. Selin KALKAN  
Giresun Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Zeliha KAYA  
Giresun Üniversitesi  
Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ  
Giresun Üniversitesi

## Danışma Kurulu / Advisory Board

Prof. Dr. Alp Yalçın TEPE (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Birol ERTUĞRAL (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Birsen Şengül OKSAL (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Temel ÖZTÜRK (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Elif Neyran SOYLU (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Cengiz MUTLU (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Hakan BEKTAŞ (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Saim TOPÇU (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Hasan Hüseyin AKSU (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Hakan ADATEPE (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. İmdat İŞCAN (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Mustafa Recep KAÇAL (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Murat YOLCU (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Şerif Ali DEĞİRMENÇAY (Giresun Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Zuhul YOLCU (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Mustafa TÜRKMEN (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Baki HAZER (Bülent Ecevit Üniversitesi)  
Prof. Dr. Telhat ÖZDOĞAN (Amasya Üniversitesi)  
Prof. Dr. Hümeysra BATI (Ondokuzmayıs Üniversitesi)  
Prof. Dr. Metin H. ACAR (İstanbul Teknik Üniversitesi)  
Prof. Dr. Zeki AYTAÇ (Gazi Üniversitesi)  
Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ (Karadeniz Teknik Üniversitesi)  
Prof. Dr. Yusuf AYVAZ (Yıldız Teknik Üniversitesi)  
Prof. Dr. Dursun SARAYDIN (Cumhuriyet Üniversitesi)  
Prof. Dr. Emin KASAP (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)  
Prof. Dr. Okan Zafer YEŞİLEL (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi)  
Prof. Dr. Mithat KAYA (Marmara Üniversitesi)  
Prof. Dr. Mustafa KURT (Ahi Evran Üniversitesi)  
Prof. Dr. Nazmi POLAT (Ondokuz Mayıs Üniversitesi)  
Prof. Dr. Nezihe ÇALIŞKAN (Gazi Üniversitesi)  
Prof. Dr. Veysel Turan YILMAZ (Uludağ Üniversitesi)  
Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ (Karadeniz Teknik Üniversitesi)

## Editör Kurulu / Editorial Board

Prof. Dr. Bahadır KOZ (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Temel ÖZTÜRK (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Seydahmet ÇAY (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Ersin TEMEL (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Mehmet Soner ENGİN (Giresun Üniversitesi)  
Prof. Dr. Onur Özdal MENGİ (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Fulya AYDIN TEMEL (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Selin KALKAN (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Volkan BAŞER (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Murat GÜL (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Erdiç ŞAHİN (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Tayfun ARSLAN (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Eren KÖMÜRLÜ (Giresun Üniversitesi)  
Doç. Dr. Serdal KAYA (Necmettin Erbakan Üniversitesi)  
Doç. Dr. Selen AYAS (Karadeniz Teknik Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ (Giresun Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Serdar SOYLU (Giresun Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Ahmet ÇELİK (Giresun Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Selçuk ATASOY (Giresun Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Zeliha ÇOLAK TOKA (Giresun Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet KILINÇ (Giresun Üniversitesi)  
Dr. Öğr. Üyesi Süleyman KÖSE (Karadeniz Teknik Üniversitesi)

## Mizanpaj Editörleri / Manuscript Editors

Doç. Dr. Arzu AYDIN UNCUMUSAOĞLU  
Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ

## Yazı İşleri Müdürü / Editorial Manager

Dr. Öğr. Üyesi Kenan YANMAZ

## Yazışma Adresi / Correspondence Address

Giresun Üniversitesi Fen Bilimlerle Enstitüsü  
Güre Yerleşkesi 28200 / Giresun  
Tel: 0 (454) 310 10 87  
E-mail: [kfbid@giresun.edu.tr](mailto:kfbid@giresun.edu.tr)  
Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kfbid>

## Grafik-Tasarım / Graphic-Design

Dr. Öğr. Üyesi Erkan GÜLER

## Redaksiyon / Redaction

Dr. Öğr. Üyesi Fikret USLUCAN

## Dil Editörleri / Language Editors

Öğr. Gör. Öznur GÜLER  
Öğr. Gör. Yasin BİÇER

Bu dergi, aşağıda listelenen veri tabanları tarafından taranmaktadır / This journal is indexed by the following abstracting and indexing databases.

Tr Dizin, BASE, idealonline, Google Scholar, Index Copernicus, InfoBase Index, ResearchBib, SIS (Scientific Indexing Services), Akademik Dizin, Directory of Research Journals Indexing (DRJI), Directory of Open Access Journals (DOAJ) .



## İçindekiler/Contents

<b><u>Araştırma Makaleleri / Research Articles</u></b>	<b><u>Sayfa/Page</u></b>
[[FI]] _ss-Lifting Modules Emine ÖNAL KIR	391-402
İnsan Yüzü Modifikasyonu için Farklı Bir GAN Modeli Emre KARDAL Vasif NABİYEY	403-418
Waste Assessment of 1.275 MWP PV Plant: Case of Northern Cyprus Nemika CELLATOĞLU BAYTIN	419-433
İpliği Boyalı Pamuklu Kumaşlarda Sürtme Haslığının Aşınma ve Yıkama Etkisiyle Değişimi Gonca ŞİMŞEK GÜNDÜZ	434-447
Comparative Analysis of Hazard Identification and Risk Assessment Methods in Ağrı Cement Factory: Fine-Kinney vs. 3T Approach Azize İNANLI Okan ÖZBAKIR	448-467
New Formulas and New Bounds for the First and Second Zagreb Indices of Phenylenes Elif ERYAŞAR Esra ÖZTÜRK SÖZEN Şerife BÜYÜKKÖSE	468-475
Gümrük Kontrol Noktalarında Riskli Geçişlerin Belirlenmesine Yönelik Yapay Zekâ Temelli Bir Yaklaşım Ezgi Zehra ŞEKER Ebru GEÇİCİ Alev TAŞKIN	476-492
Metaverse'ün Disiplinlerarası Görünümü: Lisansüstü Tez Çalışmalarının Bibliyometrik Profili Şükran DERTLİ Muhammet Emin DERTLİ	493-521
Creating a Lactation Model for 305-Day Milk Yield with Different Resampling Techniques (Bagging Mars) in Mars Modeling Demet ÇANGA BOĞA	522-539
Eski Kaşar Peyniri Proses Hattında Mikrobiyal Pembe Renk Bozuklukları: Örnek Bir Çalışma Dilvin İPEK Nükhet Nilüfer DEMİREL ZORBA	540-550
Deprem Yalıtımlı Tank Tasarımında Yönetmeliklerin Doğrusal Olmayan Analiz Prensiplerinin İrdelenmesi Samet KILIÇ	551-575
Üre-Formaldehit Reçinesi Katı Atıklarının Tarımsal Gübre Olarak Kullanımı Hasan ERYİLMAZ Kazım Onur DEMİRARSLAN Recep AYKAN	576-588
Biogenic Synthesis of Silver and Iron Oxide Nanoparticles Using Aronia prunifolia Leaf Extract and Its Inhibitory Action Against Pathogenic Fungi Luau MUSTAFA Ahmed Ismael Naqee AL-BAYATI Dunya ALBAYATI İbrahim ÖZKOÇ	589-604
Optimization of Spray Characteristics of Full Cone Nozzles Used in Pesticide Application Using the Taguchi Method Altuğ KARABEY Mehmet TANIŞ	605-618

Evaluating Climate Change Knowledge, Attitudes, and Behaviors (KAB) in Agricultural Sciences and Technologies Education Tefide KİZİLDENİZ Fatma BOZKURT	619-633
Düzlemsel Hareket Altında Bazı Özel Eğri Tiplerine En Az Eylem İlkesinin Uygulanması Serdar SOYLU Elvan KORKMAZ USTA	634-654
Yeni Nesil Savaş Uçaklarına Yönelik Görev Planlama Sistemi Ersin ESENLİ Anıl ÖZER Ömer Faruk SAVAŞ	655-668
Toz Metalürjisi ve Sıcak Preslemeyle Üretilen Karbon Nanotüp Katkılı Al6061 Matrisli Kompozitlerin Mikroyapısının ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması Mahmut Can ŞENEL Tülin ŞENBAŞ	669-682
Photovoltaic Thermal PV/T Solar Panels and Practical Applications Sevgi ALTINKÖK Atılğan ALTINKÖK	683-699
Antalya, İzmir ve İzmit Körfezlerinin Sedimentlerinde Ağır Metal Birikiminin Mevsimsel Olarak İncelenmesi Ersan Oğuzhan PINAR Mustafa TÜRKMEN	700-718
Belek Özel Çevre Koruma Bölgesi Su Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler ile Değerlendirilmesi Ömer Faruk ÖZCAN Beril AKIN	719-741
Ordu İli İçme Suyu Kaynaklarında ve Şebeke Sularındaki Metal(oid) Düzeylerinin Belirlenmesi Derya BOSTANCI Seda KONTAŞ YALÇINKAYA Serdar YEDIER Evren TUNCA Salih ALKAN	742-759
Enhanced Area Defense: Magnetic Launcher and Sensor Integration Furkan Muhammed KIRIKCI Hakan KAHVECİ Ömür AKYAZI	760-788
Farklı Baskı Açılımları ve Dolgu Oranlarında Üretilen Polilaktik Asit Plakalarla Birleştirilmiş Yapıştırma Bağlantılarının Deneysel Analizi Kürşat GÜLTEKİN Batuhan ÖZAKIN Furkan YÜKSEL Emircan DANIŞMAZ	789-801
Giresun İlindeki Bazı Ortaokulların Hava Kalitesinin Ağır Metaller Yönünden Değerlendirilmesi Hasan DEMİR Bahadır KOZ	802-815
İçme Suyu Altyapısının Mekânsal Yönetimi için Örnek Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması: Trabzon Büyükşehir Belediyesi Özel Durum Çalışması Yakup Emre ÇORUHLU Sait Semih ALTAŞ	816-849
VLC Sistemlerinde QLED Kullanan Renk Kaydırmalı Anahtarlama Modülasyonunun Sembol Hata Oranı Analizi Emin TUĞCU	850-862
Araçlar Arası (V2V) Haberleşmede Dağlık Anayollarda Yol Kaybı ve Gölgeleme Analizi Zeynep HASIRCI TUĞCU Kenan KUZULUGİL	863-878
Acrylonitrile-Containing Copolymer Synthesis and Magnesium Ions Adsorption of the Copolymer Ergül MEYVACI Temel ÖZTÜRK	879-890
Karadeniz Memorandumu Kapsamında Tutulan Gemilerin Güverte Bulgularının Analizi Hakan KARATAŞ Muhammet BORAN	891-901

Pasif ve Aktif Olarak Ok Açılı ve Anhedralli Pal Ucu Şekli Başkalaşan Helikopterin Kontrol Sistemi ile Beraber Eş Zamanlı ve Rassal Yeniden Tasarımı Firat ŞAL	902-912
6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri Sonrasında Ecemiş Fayı'nda Meydana Gelen Kabuksal Deformasyonların GNSS Yöntemiyle Belirlenmesi İbrahim TİRYAKİOĞLU Fikret KOÇBULUT Cemil GEZGİN Halil İbrahim SOLAK Eda Esmâ EYÜBAGİL Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK Kayhan ALADOĞAN Ergin DÖNMEZ Fatih POYRAZ	913-931
Karbon Ayak İzi Hesaplamalarında Enerji Tüketiminin Örnek Bir Çalışma ile İncelenmesi Gözde TOSUN Özlem TUNÇ DEDE	932-943
Yenikaracaören (Kütahya) Bazaltlarının Demiryolu Balastı Olarak Kullanılabilirliği Mehmet KOZAK	944-952
Microplastic pollution profile and potential ecological risk of in Aksu Stream (Giresun, Türkiye) Arzu AYDIN UNCUMUSAOĞLU	953-969
Physicochemical Properties of Different Melon Seed Oils Dried at Different Temperatures H. Ayla SARI Mustafa OTAĞ	970-981
Endemik Onosma nana DC.'nin Kimyasal Bileşimi, Antimikrobiyal, Antioksidan ve Enzim İnhibisyon Aktivitesinin Araştırılması Kadriye ÖZCAN Tuba ACET	982-996

## $FI_{ss}$ –Lifting Modules

Emine ÖNAL KIR<sup>1\*</sup> 

### Abstract

The purpose of this note is to show some key features of  $FI_{ss}$  –lifting and strongly  $FI_{ss}$  –lifting modules. We examine that under whose condition for direct summands, direct sums and submodules of (strongly)  $FI_{ss}$  –lifting modules are (strongly)  $FI_{ss}$  –lifting. We give an example to exhibit that an  $FI$  –lifting module needs not to be  $FI_{ss}$  –lifting. We provide that the property of being strongly  $FI_{ss}$  –lifting module is inherited by direct summands.

**Keywords:**  $ss$  –supplement submodule,  $FI_{ss}$  –lifting module, strongly  $FI_{ss}$  –lifting module.

## $FI_{ss}$ –Yükseltilebilir Modüller

### Öz

Bu çalışmanın amacı  $FI_{ss}$  –yükseltilebilir ve güçlü  $FI_{ss}$  –yükseltilebilir modüllerin bazı temel özelliklerini göstermektir. (Güçlü)  $FI_{ss}$  –yükseltilebilir modüllerin direkt toplam terimlerinin, direkt toplamlarının ve alt modüllerinin hangi koşullar altında (güçlü)  $FI_{ss}$  –yükseltilebilir modül olduğunu inceliyoruz.  $FI$  –yükseltilebilir bir modülün  $FI_{ss}$  –yükseltilebilir olmak zorunda olmadığını gösteren bir örnek veriyoruz. Güçlü  $FI_{ss}$  –yükseltilebilir modül olma özelliğinin direkt toplam terimleri tarafından aktarıldığını ispatlıyoruz.

**Anahtar Kelimeler:**  $ss$  –tümleyen alt modül,  $FI_{ss}$  –yükseltilebilir modül, güçlü  $FI_{ss}$  –yükseltilebilir modül.

<sup>1</sup>Kırşehir Ahi Evran University, Department of Mathematics, Faculty of Art and Science, Kırşehir, Turkey, emine.onal@ahievran.edu.tr

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 23.12.2022

Kabul/Accepted: 09.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024



## 1. Introduction

Along this article, whole modules are kept in view as unital left  $R$ -modules where  $R$  signifies an arbitrary ring that has unit element. Let  $M$  be such a module. The impressions  $L \leq M$ ,  $L \leq_{\oplus} M$  mean that  $L$  is a submodule of  $M$ ,  $L$  is a direct summand of  $M$ , respectively. A submodule  $L$  of  $M$  is *small* in  $M$ , notated with  $L \ll M$ , if  $M \neq L + A$  for each proper submodule  $A$  of  $M$ . By  $E(M)$ ,  $Rad(M)$  and  $Soc(M)$ , we imply the injective hull of  $M$ , the radical of  $M$  and the socle of  $M$ , respectively (Wisbauer, 1991).  $Soc_s(M)$  stands for the sum of whole simple submodules of  $M$  that are small in  $M$  (Zhou and Zhang, 2011). A submodule  $L$  of a module  $M$  is *fully invariant* if  $\gamma(L)$  is contained in  $L$  for each endomorphism  $\gamma$  of  $M$  (Wisbauer, 1991). Note that  $Soc_s(M)$  is a fully invariant submodule of  $M$ . A submodule  $L$  of  $M$  is *coclosed* in  $M$ , if  $L$  has no proper submodule  $L'$  for which  $L' \subset L$  is cosmall in  $M$ , that is,  $L/L' \ll M/L'$ . For example, each direct summand is coclosed in  $M$  (see 3.6 in (Clark et al., 2006)).

Let  $M$  be a module and  $L, V \leq M$ .  $L$  is a *supplement submodule* in  $M$  of  $V$ , if  $M = L + V$  and  $L \cap V \ll L$  (Wisbauer, 1991).  $M$  is a *supplemented module* if each submodule possesses a supplement in  $M$ .  $M$  is an *amply supplemented module*, if each submodule  $T$  of  $M$  possesses ample supplements in  $M$ , that is, for any  $X \leq M$  providing  $M = T + X$  includes a supplement of  $T$  in  $M$  (Wisbauer, 1991). As a special concept of supplements, in (Kaynar et al., 2020), the authors introduced that  $T$  is an *ss-supplement* of  $V$  in  $M$ , if  $M = T + V$  and  $T \cap V \leq Soc_s(T)$ , where  $Soc_s(T) = \sum\{T' \ll T \mid T' \text{ is simple}\} = Rad(T) \cap Soc(T)$  (see Lemma 2 and Lemma 3 in (Kaynar et al., 2020)). Clearly, the notion of *ss-supplement* is a proper generalization of the notion of direct summands.  $M$  is *ss-supplemented* if each submodule  $L$  of  $M$  possesses an *ss-supplement* in  $M$ .  $M$  is *amply ss-supplemented*, if each submodule  $L$  of  $M$  possesses ample *ss-supplements* in  $M$  (Kaynar et al., 2020).

In (Clark et al., 2006), it is defined that  $M$  is a *lifting module* if each submodule  $K$  includes  $D \leq_{\oplus} M$  providing  $K/D \ll M/D$ . This definition is called *lifting condition* of a module. It is proved in 22.3 in (Clark et al., 2006) that a module is lifting if and only if supplement submodules are direct summands and the module is amply supplemented.

In (Eryılmaz, 2021), the author said a module  $M$  *ss-lifting* if for each submodule  $L$  of  $M$ ,  $M$  possesses the decomposition  $M = M_1 \oplus M_2$  providing  $M_1 \leq L$  and  $L \cap M_2 \leq Soc_s(M_2)$ . It is obvious that each *ss-lifting* module is lifting.

In (Koşan, 2005), it is investigated that the lifting condition of a module and its fully invariant submodules. It is defined that if the whole submodules of  $M$  which are fully invariant possess the lifting condition, then  $M$  is *FI-lifting*. On the other side, Talebi and Amoozegar generalized the

concept of  $FI$  –lifting modules to strongly  $FI$  –lifting modules in (Talebi and Amoozegar, 2008). If each fully invariant submodule  $F$  of a module  $M$  includes  $X \leq_{\oplus} M$  that is fully invariant providing  $F/X \ll M/X$ , then the authors said  $M$  strongly  $FI$  –lifting. In the same paper, the authors showed several properties of these modules.

Inspired by these concepts, we generalize the notion of  $ss$  –lifting and  $FI$  –lifting modules to  $FI_{ss}$  –lifting and strongly  $FI_{ss}$  –lifting modules by taking into account each fully invariant submodule of a module instead of each submodule of a module. We give an example to demonstrate that an  $FI$  –lifting module does not need to be  $FI_{ss}$  –lifting. It is proved that a finite direct sum of  $FI_{ss}$  –lifting modules is  $FI_{ss}$  –lifting. We give an example indicating that any infinite direct sum of  $FI_{ss}$  –lifting modules is not  $FI_{ss}$  –lifting. We verify that the class of  $FI_{ss}$  –lifting modules is closed under fully invariant quotients. It is showed that a fully invariant which is coclosed submodule of an  $FI_{ss}$  –lifting module is  $FI_{ss}$  –lifting. We show that the property being strongly  $FI_{ss}$  –lifting module is transferred by each direct summand. We give the necessary and sufficient condition for a module which is a finite direct sum of fully invariant submodules to be strongly  $FI_{ss}$  –lifting.

## 2. Materials and Methods

In this section, we define  $FI_{ss}$  –lifting and strongly  $FI_{ss}$  –lifting modules. But firstly, we give some facts about  $ss$  –lifting modules and some properties of fully invariant submodules.

**Lemma 2.1.** For a module  $M$ , we have;

1. Any sum or intersection of fully invariant submodules of  $M$  is again a fully invariant submodule of  $M$ .
2. If  $K \leq L \leq M$  such that  $K$  is a fully invariant submodule of  $L$  and  $L$  is a fully invariant submodule of  $M$ , then  $K$  is fully invariant submodule of  $M$ .
3. If  $M = \bigoplus_{i \in I} M_i$  and  $N$  is a fully invariant submodule of  $M$ , then  $N = \bigoplus_{i \in I} (N \cap M_i)$ .
4. If  $K \leq L \leq M$  such that  $K$  is a fully invariant submodule of  $M$  and  $L/K$  is a fully invariant submodule of  $M/K$ , then  $L$  is a fully invariant submodule of  $M$ .

**Proof.** See Lemma 1.1 in (Birkenmeir et al., 2002) and Lemma 3.2 in (Koşan, 2005).

**Lemma 2.2.** Let  $M$  be a module and  $U \leq M$ . The following conditions are equivalent:

1. There is a direct summand  $K$  of  $M$  such that  $K \leq U$  and  $U/K \leq Soc_s(M/K)$ .
2. There are a direct summand  $K$  of  $M$  and a submodule  $L$  of  $M$  such that  $K \leq U$ ,  $U = K + L$  and  $L \leq Soc_s(M)$ .

3. There is a decomposition  $M = K \oplus K'$  with  $K \leq U$  and  $K' \cap U \leq Soc_S(M)$ .
4.  $U$  has an  $ss$  –supplement  $K'$  in  $M$  such that  $K' \cap U$  is a direct summand of  $U$ .
5. There is a homomorphism  $f: M \rightarrow M$  with  $f^2 = f$  such that  $f(M) \leq U$  and  $(1 - f)(U) \leq Soc_S(1 - f)(M)$ .

**Proof.** See Lemma 2 in (Eryılmaz, 2021).

**Theorem 2.3.** For a module  $M$ , the following conditions are equivalent:

1.  $M$  is  $ss$  –lifting.
2. Every submodule  $U$  of  $M$  can be written as  $U = K \oplus S$  where  $K$  is a direct summand of  $M$  and  $S \leq Soc_S(M)$ .
3.  $M$  is amply  $ss$  –supplemented and every  $ss$  –supplement submodule of  $M$  is a direct summand of  $M$ .

**Proof.** By Theorem 1 in (Eryılmaz, 2021).

**Definition 2.4.** We call a module  $M$   $FI_{SS}$  –lifting, if each fully invariant submodule  $U$  of  $M$  includes  $X \leq_{\oplus} M$  providing semisimple  $U/X \ll M/X$ .

Clearly,  $ss$  –lifting modules are  $FI_{SS}$  –lifting. But, each  $FI_{SS}$  –lifting module does not need to be  $ss$  –lifting as can be seen from the following example.

**Example 2.5.** The  $\mathbb{Z}$  –module  $\mathbb{Q}$ , the set of all rational numbers, is not  $ss$  –lifting as it is not lifting module by Example 2.8 in (Koşan, 2005). However,  ${}^{\square}\mathbb{Z}\mathbb{Q}$  is an  $FI_{SS}$  –lifting module as its only fully invariant submodules are 0 and  ${}^{\square}\mathbb{Z}\mathbb{Q}$ .

**Definition 2.6.** We call a module  $M$  *strongly*  $FI_{SS}$  –lifting, if each fully invariant submodule  $U$  of  $M$  includes  $X \leq_{\oplus} M$  that is fully invariant providing semisimple  $U/X \ll M/X$ .

### 3. Findings and Discussion

Recall from (Talebi and Vanaja, 2002) that a module  $M$  is *cosingular* (*non-cosingular*) *module* if  $\bar{Z}(M) = \cap \{Ker(\varphi) \mid \varphi: M \rightarrow X \text{ is a homomorphism and } X \ll E(X)\} = 0$  ( $\bar{Z}(M) = M$ ).

**Proposition 3.1.** Let  $M$  be a module. Let  $A \leq M$  and  $L \leq_{\oplus} M$ . Assume that  $M/L$  is  $ss$  –lifting. If  $A/A \cap L$  is non-cosingular, then  $A + L \leq_{\oplus} M$ .

**Proof.** By the assumption, there is  $X/L \leq_{\oplus} M/L$  such that  $X/L \leq (A + L)/L$ ,  $(A + L)/X \ll M/X$  and  $(A + L)/X$  is semisimple, as  $M/L$  is  $ss$ -lifting. Then  $(A + L)/X$  is cosingular. Since  $(A + L)/L \cong A/A \cap L$ , we get  $(A + L)/L$  is non-cosingular, by the assumption. By Proposition 2.4 in (Talebi and Vanaja, 2002),  $(A + L)/X$  is non-cosingular. Hence  $X = A + L$ .

**Proposition 3.2.** If  $M$  is non-cosingular module and  $M/T$  is  $ss$ -lifting where  $T \leq_{\oplus} M$ , then  $(T + L)/T \leq_{\oplus} M/T$  for whole direct summands  $L$  of  $M$ .

**Proof.** Let  $M/T$  be  $ss$ -lifting where  $T \leq_{\oplus} M$ . Let  $L \leq_{\oplus} M$ . Then  $L/L \cap T$  is non-cosingular by Proposition 2.4 in (Talebi and Vanaja, 2002). Thus by Proposition 3.1,  $L + T \leq_{\oplus} M$ . Hence  $(L + T)/T \leq_{\oplus} M/T$ .

Recall from (Garcia, 1989) that a module  $M$  has *Summand Sum Property* if  $M_1 + M_2 \leq_{\oplus} M$  for any  $M_1, M_2 \leq_{\oplus} M$ .

**Corollary 3.3.** Each non-cosingular  $ss$ -lifting module has the Summand Sum Property.

**Proof.** Let  $M$  be  $ss$ -lifting non-cosingular module and  $A, B \leq_{\oplus} M$ . Then  $M = A \oplus A' = B \oplus B'$  for some submodules  $A', B'$  of  $M$ . By Theorem 3 in (Eryılmaz, 2021)  $A'$  and  $B'$  are  $ss$ -lifting modules. Since  $M/A \cong A'$  and  $M/B \cong B'$ ,  $(A + B)/A \leq_{\oplus} M/A$  and  $(A + B)/B \leq_{\oplus} M/B$  by Proposition 3.2. Hence  $A + B \leq_{\oplus} M$ .

**Theorem 3.4.** Let  $M$  be a module. Then the following statements are equivalent:

1.  $M$  is  $FI_{ss}$ -lifting.
2. For each fully invariant submodule  $U$  of  $M$ , there is a decomposition  $M = M_1 \oplus M_2$  such that  $M_1 \leq U$ ,  $M_2 \cap U \ll M_2$  and  $M_2 \cap U$  is semisimple.
3. Each fully invariant submodule  $U$  of  $M$  possesses a decomposition  $U = D \oplus S$  where  $D \leq_{\oplus} M$ ,  $S \ll M$  and  $S$  is semisimple.

**Proof.** (1)  $\implies$  (2) Let  $U \leq M$  be fully invariant. Since  $M$  is  $FI_{ss}$ -lifting, then  $M$  has the decomposition  $M = M_1 \oplus M_2$  such that  $M_1 \leq U$ ,  $U/M_1 \ll M/M_1$  and  $U/M_1$  is semisimple. Consider the isomorphism  $f: M/M_1 \rightarrow M_2$ . By the way, since  $U/M_1 \ll M/M_1$ , then  $M_2 \cap U = f(U/M_1) \ll f(M/M_1) = M_2$  by 19.3(4) in (Wisbauer, 1991). Moreover,  $M_2 \cap U$  is semisimple by 8.1.5 in (Kasch, 1982).

(2)  $\implies$  (3) Let  $U \leq M$  be fully invariant. Then by the assumption, there is a decomposition of  $M$  such that  $M = M_1 \oplus M_2$ ,  $M_1 \leq U$ ,  $M_2 \cap U \ll M_2$  and  $M_2 \cap U$  is semisimple. Note that  $M_2 \cap U \ll$



$M$  by 19.3(5) in (Wisbauer, 1991). We have that  $U = M_1 \oplus (M_2 \cap U)$ , by the modular law. Say  $D = M_1$  and  $S = M_2 \cap U$ . Therefore,  $U = D \oplus S$  where  $D \leq_{\oplus} M$ ,  $S \ll M$  and  $S$  is semisimple.

(3)  $\implies$  (1) Let  $U \leq M$  be fully invariant. By the assumption, there is a decomposition  $U = D \oplus S$  where  $D \leq_{\oplus} M$ ,  $S \ll M$  and  $S$  is semisimple. So there is  $D \leq_{\oplus} M$  such that  $D \leq U$ . It is obvious that  $S \cong U/D$  is semisimple. Furthermore, suppose that  $M/D = (U/D) + (V/D)$  for some  $V \leq M$  such that  $D \leq V$ . Thus we have  $M = U + V = D + S + V = S + V$ . Since  $S \ll M$ , then we get that  $M = V$ . Hence  $M/D = V/D$ , and so  $U/D \ll M/D$ . Consequently,  $M$  is an  $FI_{SS}$ -lifting module.

**Proposition 3.5.** Let  $M$  be an  $FI_{SS}$ -lifting module and  $F$  be a fully invariant submodule of  $M$ . Then the factor module  $M/F$  of  $M$  is  $FI_{SS}$ -lifting.

**Proof.** Let  $L/F \leq M/F$  be fully invariant. Then by Lemma 2.1,  $L$  is fully invariant in  $M$ . As  $M$  is  $FI_{SS}$ -lifting, then  $M$  has the decomposition  $M = A \oplus A'$  such that  $A \leq L$ ,  $L/A \ll M/A$  and  $L/A$  is semisimple. Consider the canonical projection  $\pi: M \rightarrow M/A$  and the canonical injection  $\iota: A' \rightarrow M$ .  $f = \iota\pi: M \rightarrow M$  be an endomorphism of  $M$ . Since  $F$  and  $L$  are fully invariant submodules of  $M$ ,  $f(F) \leq F$  and  $f(L) \leq L$ . It can be seen that  $L = f^{-1}(L)$ . Note that  $f^{-1}(F) \leq L = f^{-1}(L)$ . Assume that  $T$  be a submodule of  $M$  such that  $f^{-1}(F) \leq T$  and  $M/(f^{-1}(F)) = (L/(f^{-1}(F))) + (T/(f^{-1}(F)))$ . Then we get that  $M = L + T$ , and since  $L/A \ll M/A$ ,  $M = T$ . Therefore,  $L/(f^{-1}(F)) \ll M/(f^{-1}(F))$ , that is,  $(L/F)/((f^{-1}(F))/F) \ll (M/F)/((f^{-1}(F))/F)$ . Moreover, since  $L/A$  is semisimple, then  $L/(F + A)$  is semisimple as a factor module of  $L/A$  by 8.1.5 in (Kasch, 1982). Note that

$$L/(f^{-1}(F)) = (L/F)/((f^{-1}(F))/F) = [(L/(F + A))/((F + A)/F)]/[(f^{-1}(F))/F].$$

Then  $L/f^{-1}(F)$  is semisimple by 8.1.5 in (Kasch, 1982). Now we want to show that  $f^{-1}(F)/F \leq_{\oplus} M/F$ . Since  $M = A \oplus A'$ , then  $M = f^{-1}(F) + A'$ . Thus  $M/F = ((f^{-1}(F))/F) + ((A' + F)/F)$ . Since  $f^{-1}(F) \cap (A' + F) = F + (f^{-1}(F) \cap A') = F$ , then  $(f^{-1}(F))/F \leq_{\oplus} M/F$ . Hence  $M/F$  is  $FI_{SS}$ -lifting.

**Theorem 3.6.** Let  $M_i$  be  $FI_{SS}$ -lifting module for each  $1 \leq i \leq n$  and  $M = \bigoplus_{i=1}^n M_i$ . Then  $M$  is  $FI_{SS}$ -lifting.

**Proof.** Let  $F \leq M$  be fully invariant. Then  $F = \bigoplus_{i=1}^n (F \cap M_i)$  by Lemma 2.1. Note that  $F \cap M_i$  is fully invariant in  $M_i$  for each  $1 \leq i \leq n$ . Since each  $M_i$  is  $FI_{SS}$ -lifting, then  $F \cap M_i = D_i \oplus S_i$  where  $D_i \leq_{\oplus} M_i$ ,  $S_i \ll M_i$  and  $S_i$  is semisimple for each  $1 \leq i \leq n$  by Theorem 3.4. Say  $D = \bigoplus_{i=1}^n D_i$  and

$S = \bigoplus_{i=1}^n S_i$ . Then  $F = D \oplus S$ , where  $D \leq_{\oplus} M$ ,  $S \ll M$  and  $S$  is semisimple by 19.3(3) in (Wisbauer, 1991) and 8.1.5 in (Kasch, 1982). Hence by Theorem 3.4,  $M$  is  $FI_{ss}$ -lifting.

**Corollary 3.7.** Let  $M$  be a finite direct sum of  $ss$ -lifting modules, then  $M$  is  $FI_{ss}$ -lifting.

Now we shall give an example to exhibit any infinite direct sum of  $FI_{ss}$ -lifting modules needs not to be  $FI_{ss}$ -lifting.

A projective module  $M$  together with an epimorphism  $f: M \rightarrow N$  such that  $\text{Ker}(f) \ll M$  is called *projective cover* of  $N$  (see 19.4 in (Wisbauer, 1991)). Recall from 43.9 in (Wisbauer, 1991) that a ring  $R$  is *left perfect* if each left  $R$ -module has a projective cover.

A ring  $R$  is *semiperfect* if  $R/\text{Rad}(R)$  is left semisimple and idempotents in  $R/\text{Rad}(R)$  can be lifted to  $R$  (see 42.6 in (Wisbauer, 1991)). It is proved in Theorem 5 in (Eryılmaz, 2021) that  $R$  is semiperfect ring with  $\text{Rad}(R) \leq \text{Soc}(\overset{\square}{R}R)$  if and only if  $\overset{\square}{R}R$  is  $ss$ -lifting.

**Example 3.8.** Let  $R$  be semiperfect ring with  $\text{Rad}(R) \leq \text{Soc}(\overset{\square}{R}R)$  which is not left perfect and  $M$  be countably generated free  $R$ -module. By Theorem 5 in (Eryılmaz, 2021) each direct summand of  $M$  is  $ss$ -lifting, and so  $FI_{ss}$ -lifting. Note that  $\text{Rad}(M)$  is not small in  $M$  and  $\text{Rad}(M)$  is fully invariant in  $M$ . Here,  $\text{Rad}(M)$  can not include a nonzero direct summand of  $M$ . If  $\text{Rad}(M)$  included a direct summand  $D$  of  $M$ , then it would be  $D = \text{Rad}(D)$ . But this contradicts with the fact that for any projective  $R$ -module  $N$ ,  $N \neq \text{Rad}(N)$ . Hence,  $M$  is not an  $FI_{ss}$ -lifting module when considering its fully invariant submodule  $\text{Rad}(M)$ , although each direct summand of  $M$  is an  $FI_{ss}$ -lifting module.

**Proposition 3.9.** Let  $M$  be a projective module. Then  $M$  is  $FI_{ss}$ -lifting if and only if  $M/U$  has a projective cover for each fully invariant submodule  $U$  of  $M$  such that  $U/X$  is semisimple for any  $X \leq_{\oplus} M$ .

**Proof.** ( $\Rightarrow$ ) Suppose that the projective module  $M$  is  $FI_{ss}$ -lifting and  $U \leq M$  be fully invariant. Then by Theorem 3.4,  $U = A \oplus B$  where  $A \leq_{\oplus} M$ ,  $B \ll M$  and  $B$  is semisimple. Note that  $B \cong U/A$ . Since  $B \ll M$ , then  $(B+A)/A \ll M/A$  by 19.3(4) in (Wisbauer, 1991). Hence the canonical projection  $\pi: M/A \rightarrow M/(A+B) = M/U$  is a projective cover of  $M/U$ , as desired.

( $\Leftarrow$ ) Suppose that a projective module  $P$  with  $f: P \rightarrow M/U$  is a projective cover of the factor module  $M/U$ . Then there is a homomorphism  $g: M \rightarrow P$  providing  $fg = \pi$  where  $\pi: M \rightarrow M/U$  is the canonical projection. Since  $\text{Ker}(f) \ll P$  and  $\pi$  is an epimorphism, then  $g$  is an epimorphism, and

hence  $g$  splits. Thus  $M = \text{Ker}(g) \oplus T$  for some submodule  $T$  of  $M$ . Then  $U = \text{Ker}(g) \oplus (U \cap T)$ , and also  $U \cap T \ll M$ . Moreover, by the assumption,  $U \cap T$  is semisimple.

**Corollary 3.10.** Let  $R$  be a ring. The module  ${}_{\square}R$  is  $FI_{SS}$ -lifting if and only if for each two sided ideal  $I$  of  $R$  such that  $I/J$  is semisimple for any  $J \leq_{\oplus} R$ ,  ${}_{\square}R/I$  has a projective cover.

**Proposition 3.11.** Let  $M$  be an  $FI_{SS}$ -lifting module and  $U \leq M$  be coclosed and fully invariant. Then  $U$  is  $FI_{SS}$ -lifting.

**Proof.** Let  $F \leq U$  be fully invariant. Then by Lemma 2.1,  $F$  is fully invariant in  $M$ . As  $M$  is  $FI_{SS}$ -lifting, there is  $K \leq_{\oplus} M$  such that  $K \leq F$ ,  $F/K \ll M/K$  and  $F/K$  is semisimple. As  $U$  is coclosed in  $M$ , then  $U/K$  is coclosed in  $M/K$  by 3.7(1) in (Clark et al., 2006). Thus  $F/K \ll U/K$  by 3.7(3) in (Clark et al., 2006). Also  $K \leq_{\oplus} U$ . Hence  $U$  is  $FI_{SS}$ -lifting.

**Proposition 3.12.** If  $M$  is an  $FI_{SS}$ -lifting module, then each fully invariant submodule of  $M/\text{Soc}_S(M)$  is a direct summand.

**Proof.** Let  $N/\text{Soc}_S(M) \leq M/\text{Soc}_S(M)$  be fully invariant, and hence  $N$  is too in  $M$  by Lemma 2.1. By the hypothesis, there is a decomposition  $M = M_1 \oplus M_2$  such that  $M_1 \leq N$ ,  $M_2 \cap N \ll M_2$  and  $M_2 \cap N$  is semisimple. Note here that  $M_2 \cap N \leq \text{Soc}_S(M)$ . Thus we get that  $M/\text{Soc}_S(M) = (N/\text{Soc}_S(M)) \oplus ((M_2 + \text{Soc}_S(M))/\text{Soc}_S(M))$ , as desired.

#### 4. Strongly $FI_{SS}$ -Lifting Modules

Now the following theorem can be easily proved as in Theorem 3.4.

**Theorem 4.1.** Let  $M$  be a module. Then the following statements are equivalent:

1.  $M$  is strongly  $FI_{SS}$ -lifting.
2. For each fully invariant submodule  $U$  of  $M$ , there are submodules  $D$  and  $S$  of  $M$  such that  $U = D + S$  where  $D \leq_{\oplus} M$  is fully invariant,  $S \ll M$  and  $S$  is semisimple.
3. Each fully invariant submodule  $U$  of  $M$  possesses a decomposition  $U = D \oplus S$  where  $D \leq_{\oplus} M$  is fully invariant,  $S \ll M$  and  $S$  is semisimple.

**Proposition 4.2.** Let  $M$  be an  $FI_{SS}$ -lifting module with  $\text{Soc}_S(M) = 0$  and  $U \leq M$  be fully invariant. Then  $U$  is strongly  $FI_{SS}$ -lifting.

**Proof.** Let  $X \leq U$  be fully invariant. Thus by Lemma 2.1,  $X$  is fully invariant in  $M$ . Since  $M$  is  $FI_{ss}$ -lifting, then  $X = D \oplus S$  where  $D \leq_{\oplus} M$ ,  $S \ll M$  and  $S$  is semisimple by Theorem 3.4. Note that  $S \leq Soc_s(M)$ . Since  $Soc_s(M) = 0$ , then  $X \leq_{\oplus} M$ . Hence  $X \leq_{\oplus} U$ .

**Theorem 4.3.** Strongly  $FI_{ss}$ -lifting modules are transferred by direct summands.

**Proof.** Suppose that  $M$  be a strongly  $FI_{ss}$ -lifting module and  $M_1 \leq_{\oplus} M$ . Thus  $M = M_1 \oplus M_2$  for some submodule  $M_2$  of  $M$ . Let the module  $U_1$  be fully invariant in  $M_1$ . Therefore, there is a fully invariant submodule  $U_2$  of  $M_2$  providing that  $U_1 \oplus U_2$  is fully invariant in  $M$  by Lemma 1.11 in (Rizvi and Cosmin, 2004). Since  $M$  is strongly  $FI_{ss}$ -lifting, then  $U_1 \oplus U_2 = K \oplus T$  where  $K \leq_{\oplus} M$  is fully invariant,  $T \ll M$  and  $T$  is semisimple.  $K = (K \cap M_1) \oplus (K \cap M_2)$  by Lemma 2.1 and  $K \cap M_1$  is fully invariant in  $M_1$ . Also  $K \cap M_1 \leq_{\oplus} M$ . Thus we have  $U_1 = \pi_{M_1}(K) + \pi_{M_1}(T) = (K \cap M_1) + \pi_{M_1}(T)$  where  $\pi_{M_1}: M \rightarrow M/M_2$  is the canonical projection. Since  $T \ll M$ ,  $\pi_{M_1}(T) \ll M_1$  by 19.3(4) in (Wisbauer, 1991). Moreover, since  $T$  is semisimple, then  $\pi_{M_1}(T)$  is semisimple by 8.1.5 in (Kasch, 1982). Hence  $M_1$  is strongly  $FI_{ss}$ -lifting by Theorem 4.1.

**Proposition 4.4.** Let  $M = \bigoplus_{i=1}^n M_i$  and  $M_i$  be fully invariant in  $M$  for each  $1 \leq i \leq n$ . Then  $M$  is strongly  $FI_{ss}$ -lifting module if and only if  $M_i$  is strongly  $FI_{ss}$ -lifting module for each  $1 \leq i \leq n$ .

**Proof.** ( $\Rightarrow$ ) The proof follows from Theorem 4.3.

( $\Leftarrow$ ) Let  $U$  be a fully invariant submodule of  $M$ . Then  $U = \bigoplus_{i=1}^n (U \cap M_i)$  by Lemma 2.1. Also  $U \cap M_i$  is fully invariant in  $M_i$  for each  $1 \leq i \leq n$ . Since  $M_i$  is strongly  $FI_{ss}$ -lifting, then  $U \cap M_i = A_i \oplus B_i$  where  $A_i \leq_{\oplus} M_i$  is fully invariant,  $B_i \ll M_i$  and  $B_i$  is semisimple for each  $1 \leq i \leq n$  by Theorem 4.1. Put  $A = \bigoplus_{i=1}^n A_i$  and  $B = \bigoplus_{i=1}^n B_i$ . Note that  $B \ll M$  by 19.3(3) in (Wisbauer, 1991) and  $B$  is semisimple by 8.1.5 in (Kasch, 1982). Then we have  $U = A \oplus B$ , where  $A \leq_{\oplus} M$ . Moreover, since  $A_i$  is fully invariant in  $M_i$  and  $M_i$  is fully invariant in  $M$  for each  $1 \leq i \leq n$ , then  $A_i$  is a fully invariant submodule of  $M$  for each  $1 \leq i \leq n$  by Lemma 2.1. By using Lemma 2.1,  $A$  is fully invariant in  $M$ . Hence  $M$  is strongly  $FI_{ss}$ -lifting.

**Proposition 4.5.** Let  $M$  be strongly  $FI_{ss}$ -lifting module and  $S$  be an  $ss$ -supplement submodule of  $M$  such that  $S$  is fully invariant in  $M$ . If any of the conditions below is verified, then  $S$  is strongly  $FI_{ss}$ -lifting.

1.  $S$  is indecomposable.
2.  $M$  is a self-injective module.



**Proof.** (1) Since  $S$  is an indecomposable fully invariant  $ss$  –supplement submodule of  $M$ , then  $S \leq_{\oplus} M$ . Thus  $S$  is strongly  $FI_{ss}$  –lifting by Theorem 4.3.

(2) Let  $V \leq S$  be fully invariant. Thus  $V$  is a fully invariant submodule of  $M$  by Lemma 2.1, and hence  $V = X \oplus Y$  where  $X \leq_{\oplus} M$  is fully invariant,  $Y \ll M$  and  $Y$  is semisimple by Theorem 4.1. Thus  $X \leq_{\oplus} S$ , and so  $Y \ll S$  as  $S$  is a supplement submodule of  $M$ , by 20.2 in (Clark et al., 2006). Also, since  $M$  is self-injective, each homomorphism from  $S$  to  $S$  can be extended to a homomorphism from  $M$  to  $M$ . Hence  $X$  is a fully invariant submodule of  $S$ .

Recall from (Özcan et al., 2006) that  $M$  is *duo module* if each submodule of  $M$  is fully invariant.

**Proposition 4.6.** Let  $M$  be a duo module. If  $M$  is  $ss$  –lifting, then  $M$  is strongly  $FI_{ss}$  –lifting.

**Proof.** Suppose that  $U \leq M$  be fully invariant. Since  $M$  is  $ss$  –lifting, then  $U$  includes  $T \leq_{\oplus} M$  such that  $U/T \ll M/T$  and  $U/T$  is semisimple by Lemma 2.2. Since  $M$  is duo module, then  $T$  is fully invariant in  $M$ . Hence  $M$  is a strongly  $FI_{ss}$  –lifting module.

**Proposition 4.7.** Let  $M$  be a module such that  $Rad(M)$  is semisimple. Then  $M$  is an  $FI$  –lifting module if and only if  $M$  is an  $FI_{ss}$  –lifting module.

**Proof.** Let  $M$  be an  $FI$  –lifting module and  $U \leq M$  be fully invariant. Then  $M$  possesses the decomposition  $M = M_1 \oplus M_2$  providing  $M_1 \leq U$  and  $M_2 \cap U \ll M_2$ . Note that  $M_2 \cap U \leq Rad(M)$ . By the assumption,  $M_2 \cap U$  is semisimple. Hence  $M$  is an  $FI_{ss}$  –lifting module. The converse assertion is clear.

**Example 4.8.** Consider the left  $\mathbb{Z}$  –module  $M = \mathbb{Z}/2\mathbb{Z} \oplus \mathbb{Z}/8\mathbb{Z}$ . Then  $M$  is  $FI$  –lifting module by Example 3.9 in (Koşan, 2005). But since  $Rad(M)$  is not semisimple,  $M$  is not  $FI_{ss}$  –lifting module by Proposition 4.7.

**Example 4.9.** Consider the module  $M$  given in Example 4.8 and the submodule  $T = \mathbb{Z}/2\mathbb{Z} \oplus 4\mathbb{Z}/8\mathbb{Z}$  of  $M$ .  $T$  is not small in  $M$  and does not include a nonzero fully invariant direct summand of  $M$ . Consequently,  $M$  is not strongly  $FI_{ss}$  –lifting module.

**Proposition 4.10.** Let  $M$  be a duo module.  $M$  is  $FI_{ss}$  –lifting if and only if  $M$  is  $ss$  –lifting.

**Proof.** Let  $M$  be an  $FI_{ss}$  –lifting module and  $U \leq M$ . As  $M$  is a duo module,  $U$  is fully invariant in  $M$ . By the assumption,  $M$  possesses the decomposition  $M = M_1 \oplus M_2$  with the conditions  $M_1 \leq U$ ,  $M_2 \cap U \ll M_2$  and semisimple  $M_2 \cap U$ . Hence  $M$  is an  $ss$  –lifting module. The converse assertion is clear.

## 5. Conclusions and Recommendations

Here, we define a new concept of  $ss$  – lifting modules. Instead of every submodule which satisfies  $ss$  –lifting property of a module, we consider every fully invariant submodule which satisfies  $ss$  –lifting property. The results in this paper can be generalized for weak  $ss$  –lifting modules that are defined in (Nişancı Türkmen, 2020), and also can be generalized for  $\delta_\tau$  –lifting and  $\tau_e$  –lifting modules that are defined in (Tian et al., 2023) and (Öztürk Sözen, 2020), respectively.

## Acknowledgements

The author would like to thank all the referees for their comments and careful review, which improved and refined the manuscript.

## Statement of Conflicts of Interest

The author declares that there is no conflict of interest.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Birkenmeier, G. F., Müller, B. J., Rizvi, S. T., (2002). Modules in Which Every Fully Invariant Submodule is Essential in a Direct Summand. *Communications in Algebra*, 30(3), 1395-1415.
- Clark, J., Lomp, C., Vanaja, N., Wisbauer, R., (2006). *Lifting modules*. Birkhauser, Verlag-Basel: Frontiers In Mathematics.
- Eryılmaz, F., (2021).  $ss$  –Lifting Modules and Rings. *Miskolc Mathematical Notes*, 22(2), 655-662.
- Garcia, J. L., (1989). Properties of Direct Summands of Modules. *Communications in Algebra*, 17(1), 73-92.
- Kasch, F., (1982). *Modules and rings*. Teubner: Published for the London Mathematical Society by Academic Press.
- Kaynar, E., Çalışıcı, H., Türkmen, E., (2020).  $ss$  –Supplemented Modules. *Communications Faculty of Sciences University of Ankara Series A1 Mathematics and Statistics*, 69 (1), 473-485.
- Koşan, M. T., (2005). The Lifting Condition and Fully Invariant Submodules. *East-West Journal of Mathematics*, 7(1), 99-106.
- Nişancı Türkmen, B., (2020). Weak  $ss$  –Lifting Modules. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology and Sciences*, 74(1), 232-236.
- Özcan, A. Ç., Harmanlı, A., Smith, P. F., (2006). Duo Modules. *Glasgow Mathematical Journal*, 48(3), 533-545.

- Öztürk Sözen, E. (2020). Bol e-Tümlenmiş Modüllere ve e-Yükseltilebilir Modüllere Torsiyon-Teorik Bir Yaklaşım. *Erzincan University Journal of Science and Technology*, 13(2), 592-599.
- Rizvi, S. T., Cosmin, S. R., (2004). Baer and Quasi-Baer Modules. *Communications in Algebra*, 32, 103-123.
- Talebi, Y., Vanaja, N., (2002). The Torsion Theory Cogenerated by M-Small Modules. *Communications in Algebra*, 30(3), 1449-1460.
- Talebi, Y., Amoozegar, T., (2008). Strongly FI –Lifting Modules. *International Electronic Journal of Algebra*, 3, 75-82.
- Tian, J., Öztürk Sözen, E., Moniri Hamzekolae, A. R. (2023). Some Variations of  $\delta$ -Supplemented Modules with Regard to a Hereditary Torsion Theory. *Journal of Mathematics*, Article ID 9968793, 7p.
- Wisbauer, R., (1991). *Foundations of module and ring theory*. Gordon and Breach, Philedelphia: Gordon and Breach Science Publishers.
- Zhou, D. X., Zhang, X. R., (2011). Small-Essential Submodules and Morita Duality. *Southeast Asian Bulletin of Mathematics*, 35(6), 1051–1062.

## İnsan Yüzü Modifikasyonu için Farklı Bir GAN Modeli

Emre KARDAL<sup>1\*</sup>, Vasif NABIYEV<sup>2\*</sup>

### Öz

Günümüzde aktif olarak kullanılan Üretken Çekişmeli Ağlar (GAN'lar), makine öğrenmesi ve yapay zeka alanlarında son teknoloji yöntemlerden biridir. GAN'lar, iki sinir ağının (Üretici ve Ayırt Edici) rekabetçi bir şekilde birbirlerini eğiterek yüksek karmaşıklıkta veri örneklerini işlemelerine ve bu sayede gerçekçi yapay görüntüler, sesler veya videolar üretmelerine olanak tanır. Genel olarak GAN algoritması kullanan modeller, rastgele gürültü örnekleri ile rastgele sonuçlar üretmektedir. Ancak, bu çalışmada geliştirilen farklı bir GAN modeli, belirli koşullara uygun olarak modifiye edilmesi istenen hedef yüzlerin gerçekçi sonuçlar oluşturmaya odaklanmaktadır. Bu modelin tasarımında, hedef yüz verileri girdi olarak kullanılarak, bu yüzlerin istenilen özelliklere göre (örneğin, sakal ekleme, kellik, vb.) modifiye edilmesi sağlanmıştır. Deneysel sonuçlar, belirli koşullar altında üretilen çıktının kayda değer başarılar elde ettiğini göstermiştir. Özellikle, geriye yönelik bir eğitim süreci olmamasına rağmen, modelin çıktısı giriş olarak tekrar kullanıldığında, eski fotoğrafın yeniden oluşturulmasında %62 başarı elde edilmiştir. Ayrıca, fotoğrafların arka planı silinerek sadece yüz için yapılan hesaplamalar sonucunda bu başarı oranı ortalama %85'e yükselmiştir. Bu çalışma, GAN modellerinin sadece rastgele gürültü ile sonuç üretmekten öte, belirli koşullara uygun gerçekçi modifikasyonlar yapabilme potansiyelini göstermektedir. Ulaşılan bu başarı oranları, özellikle güvenlik sistemleri, estetik cerrahi, film endüstrisi ve bilgisayar yaratıcılığı gibi alanlarda GAN modellerinin kullanım potansiyelini artırmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Üretken Çekişmeli Ağlar, Makine Öğrenmesi, Yapay Zekâ

## Different GAN Model for Human Face Modification

### Abstract

Generative Adversarial Networks (GANs) are among the state-of-the-art methods in the fields of machine learning and artificial intelligence. GANs enable the processing of highly complex data samples and thus the generation of realistic artificial images, sounds, or videos through the competitive training of two neural networks: the Generator and the Discriminator. Typically, models using the GAN algorithm produce random results with random noise samples. However, in this study, a different GAN model was developed, focusing on generating realistic results for target faces to be modified according to certain conditions. In the design of this model, target face data were used as input, and modifications (e.g., adding a beard, balding, etc.) were made according to desired characteristics. Experimental results showed that the outputs generated under certain conditions achieved remarkable success. Notably, even without a retrospective training process, the model achieved a 62% success rate in reconstructing the old photograph when the model's output was reused as input. Additionally, when the background of the photos was removed and calculations were performed only on the face, this success rate increased to an average of 85%. This study demonstrates the potential of GAN models to perform realistic modifications according to specific conditions, beyond merely producing results with random noise. The achieved success rates highlight the potential applications of GAN models in fields such as security systems, aesthetic surgery, the film industry, and computer creativity.

**Keywords:** Generative Adversarial Networks (GANs), Machine Learning (ML), Artificial Intelligence (AI)

<sup>1,2</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Mühendislik Fakültesi, Trabzon, Türkiye, emrekd1314@gmail.com vasif@ktu.edu.tr

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 06.04.2023

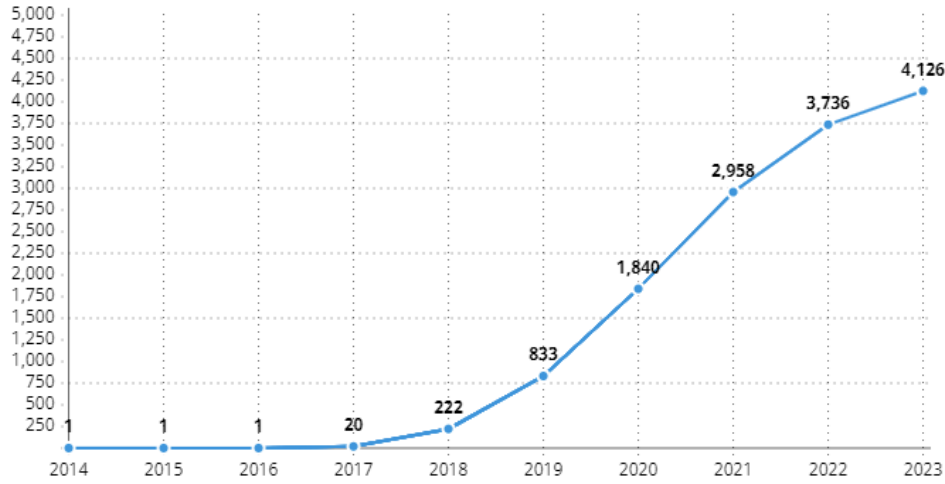
Kabul/Accepted: 06.06.2024

Yayın/Published: 18.06.2024



## 1. Giriş

Günümüzde güvenlik sistemleri, yüz estetiği, film endüstrisi, bilgisayar yaratıcılığı açısından yüz modifikasyonu önem taşımaktadır. Bu tarz problemlerin çözümü, yeni yöntemler ve akıllı algoritmalar gerektirmektedir. Yüz modifikasyonu, yüz tanıma teknolojilerinin yanı sıra, kişisel fotoğraf düzenleme uygulamalarında ve sinema endüstrisinde özel efektler için de kritik bir rol oynamaktadır. Örneğin, film yapımcıları, karakterlerin görünümünü değiştirmek için gelişmiş yüz modifikasyon tekniklerini kullanarak izleyicilere daha etkileyici deneyimler sunmaktadır. Yapay zekâ modellerinden biri olan GAN ise bu alanda kullanılabilecek etkili yöntemlerden biridir. GAN, Ian Goodfellow tarafından, yarı denetimli ve denetimsiz öğrenme yöntemi olarak önerildi (Goodfellow, I. ve ark. 2014). Ve gün geçtikçe daha popüler hale geldi (Salehi, P. ve ark. 2020). Şekil 1’de 2014 yılından 2023 yılına kadar olan makale sayısının grafiği gösterilmiştir.



Şekil 1. GAN’ın gelişimi (WOS topic: Generative Adversarial Networks)

GAN, temel olarak iki ana bileşenden oluşur: Üretici (Generatör) ve Ayırt Edici (Discriminator). Üretici, rastgele gürültüden yeni veri örnekleri üretirken, Ayırt Edici bu örneklerin gerçek mi yoksa sahte mi olduğunu belirlemeye çalışır. Bu iki ağ arasındaki rekabet, Nash dengesi olarak bilinen oyun teorisi prensibine dayanır (Goodfellow I. 2016). Ayırt Edici, üretilen rastgele sonuçlar ile veri setinden gelen rastgele örneklerden hangisinin gerçek, hangisinin sahte örnekler olduğunu çözmeye çalışır. Bu ağ sonucu 0 ile 1 arasında puanlar. Bu puan ağa gelen örnekler ne kadar gerçekse 1’e yakın, ne kadar sahteyse 0’a yakın olarak değerlendirilir. Başta üretilen sonuçlar tamamen rastgele olabilir. Eğitim devam ettikçe Ayırt Edici artık daha net bir şekilde gerçek ile sahte örnekleri ayırt etmeye başlar. Üretici ağ ise Ayırt Edicinin gerçek olduğunu sandığı örneklere yakınsamaya, sahte olduğunu anladığı örneklerden uzaklaşmaya çalışır. Bu rekabet durumu GAN’ın diğer sinir ağı modellerinden daha performanslı ve gerçekçi sonuçlar üretmesini sağlar. Bu ağların eğitim algoritması ise Algoritma 1’de görülmektedir (Goodfellow, I. ve ark. 2014).

Algoritma 1: (Goodfellow, I. ve ark. 2014)

for “eğitim sayısı” do:

for “Ayırt Ediciye uygulanacak adım sayısı” do:

$m$  adet gürültü örneği  $\{z^{(1)}, \dots, z^{(m)}\}$

$m$  adet gerçek örnekler  $\{x^{(1)}, \dots, x^{(m)}\}$

Ayırt Ediciyi artan değişken gradyan yöntemiyle güncelle:

$$\nabla_{\theta_d} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [\log D(x^{(i)}) + \log(1 - D(G(z^{(i)})))]$$

end for

$m$  adet gürültü örneği  $\{z^{(1)}, \dots, z^{(m)}\}$

Üreticiyi azalan değişken gradyan yöntemiyle güncelle:

$$\nabla_{\theta_g} \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \log(1 - D(G(z^{(i)})))$$

end for

*Güncellemelerde herhangi bir gradyan tabanlı güncelleme yöntemi kullanılabilir.* (Goodfellow, I. ve ark. 2014).

Günümüzde, GAN'lar sadece görüntü işleme alanında değil, aynı zamanda ses ve video üretimi gibi diğer medya türlerinde de geniş uygulama alanı bulmaktadır. Örneğin, sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) uygulamalarında, kullanıcı deneyimini artırmak için gerçekçi görüntüler ve videolar üretmek amacıyla GAN'lar kullanılmaktadır. Bu makalede özellikle GAN'ın tercih edilme sebebi rekabetten doğan performansı ve daha gerçekçi sonuç üretmesidir. Ancak orijinal modelde sadece rastgele gürültüler ile rastgele sonuçlar üretilmektedir. Bu yüzden orijinal GAN'dan farklı olarak, bu çalışmada modifiye edilmesi istenen insan yüzlerinin koşul verileri girdi olarak kullanılmış ve böylece daha kontrollü ve hedeflenmiş sonuçlar elde edilmiştir. Bu modelin amacı, belirli koşullara uygun olarak hedef yüzlerin istenilen özelliklerde modifiye edilmesini sağlamaktır. GAN'ların insan yüzü modifikasyonu gibi karmaşık görevlerde nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektir. Çalışmada kullanılan yöntemler, veri setleri ve deneysel sonuçlar incelenmiş ve GAN modelinin bu alandaki potansiyeli vurgulanmıştır. Bu bağlamda, GAN'ların mevcut ve gelecekteki uygulamaları için önemli bir referans noktası oluşturulmuştur. Böylece farklı bir GAN modeli önerilmiştir.

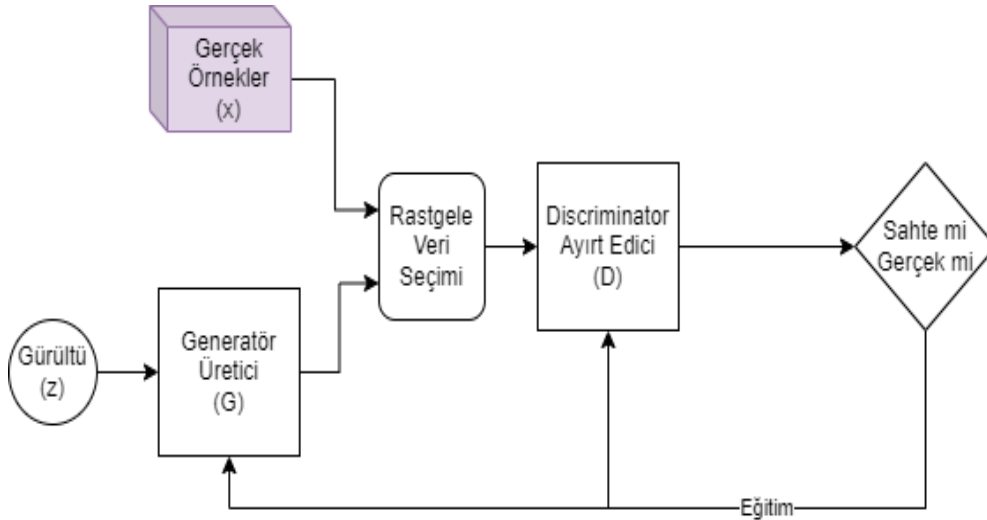
## 2. Literatür Taraması

### 2.1. Üretken Çekişmeli Ağlar (GANs)

Orijinal GAN modeli oyun teorisine dayanmaktadır. Denklem (1)'de (Mirza, M. ve ark. 2014) görülen minmax fonksiyonunda, aynı anda eğitilen Üretici G olarak, Ayırt Edici ise D olarak temsil edilmektedir. Bu denklemde  $E_{x \sim p_{data}}$  kısmı beklenen değeri temsil eder.  $E_{x \sim p_{data}(x)}$ , beklenen gerçek değerleri,  $E_{x \sim p_{data}(z)}$  ise beklenen sahte değerleri temsil etmektedir. Bu denklemdeki amaç en iyi sonuçları en az maliyetle üreterek eğitimin tamamlanmasıdır. Ayırt Edici D bu denklemin

sonucunu maksimum hale getirmeye çalışır. Üretici ise tam tersi şekilde, denklemin sonucunu minimum hale getirmeye çalışır. Denklemdaki  $D(x)$  ve  $D(G(z))$ 'nin alabileceği değerler "0" ile "1" arasındadır. Bu yüzden denklemin maksimum değeri  $\log 1 + \log(1 - 0)$ 'dan "0" olmaktadır. Üretici ise sadece denklemin ikinci kısmına etki edebilmektedir. Bu yüzden bu denklemin minimum değeri ikinci kısımdan  $\log(0)$ 'dan yaklaşık  $-\infty$  olmaktadır. Bu iki durum ağların rekabetinden ve kullanılan aktivasyon fonksiyonlarının sonucunun 0'a ulaşmamasından dolayı asla gerçekleşmemektedir. İdeal durumda  $D(x) = 0.5$  ve  $D(G(z)) = 0.5$  olmalıdır bu durumda ise bu denklemin sonucu yaklaşık olarak  $\log 0.5 + \log(1 - 0.5) = 2 \log 0.5 \cong -0.602$ 'dir. Bu hesaplama sadece tek değer için örnek olarak yapılmıştır. Şekil 2'de GAN'ın eğitim şeması gösterilmektedir.

$$\min_G \max_D V(D, G) = E_{x \sim p_{data}(x)} [\log D(x)] + E_{z \sim p_{data}(z)} [\log (1 - D(G(z)))] \quad (1)$$



Şekil 2. Orijinal GAN akış şeması

Bu şemada GAN, rastgele verilen bir gürültüyle oluşturulan Üretici çıkışını gerçek örneklerle karıştırarak Ayırt Ediciye vermektedir. Ayırt Edici örneğin sahte veya gerçek olma durumunu değerlendirir. Sonuca göre ise geri yayılım (Boué, L. 2018) algoritmasının yardımıyla Ayırt Edici ve Üretici ağın katmanlarındaki ağırlıklar güncellenir. Bu algorithmada artan/azalan gradyan yöntemiyle her bir katmandaki düğümün hata üzerindeki etkisi, kısmi türevlerin yardımıyla bulunur. Bunun için kullanılan aktivasyon fonksiyonunun türevi olması gerekmektedir. Denklem (2)'de kullanılabilir aktivasyon fonksiyonlarından biri olan Sigmoid fonksiyonu ve onun türevi gösterilmektedir. Denklem (3)'te ise bir diğer aktivasyon fonksiyonu olan Tanh fonksiyonu ve türevi verilmiştir (Karabayır, İ. 2018). Denklem (4) ve Denklem (5)'de (Xu, B. ve ark. 2015) ise doğrusal aktivasyon fonksiyonları olan ReLU, ReLU'dan türeyen LReLU ve bunların türevleri bulunmaktadır. LReLU, ReLU fonksiyonunun negatif alanlarda da türevlenebilir halidir.

$$S(t) = \frac{1}{1+e^{-t}}, \quad S'(t) = S(t)(1-S(t)) \quad (2)$$

$$\tanh t = \frac{e^t - e^{-t}}{e^t + e^{-t}}, \quad \tanh' t = 1 - \tanh^2 t \quad (3)$$

$$y = f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ x, & x \geq 0 \end{cases}, \quad y' = f'(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases} \quad (4)$$

$$y = f(x) = \begin{cases} a \cdot x, & x < 0 \\ x, & x \geq 0 \end{cases}, \quad y' = f'(x) = \begin{cases} a, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases} \quad (5)$$

*a* değişkeni 0 ila 1 arasında değer almaktadır, genellikle pratikte 0'a oldukça yakın değerler kullanılır.

### 2.1.2. Farklı GAN Modelleri

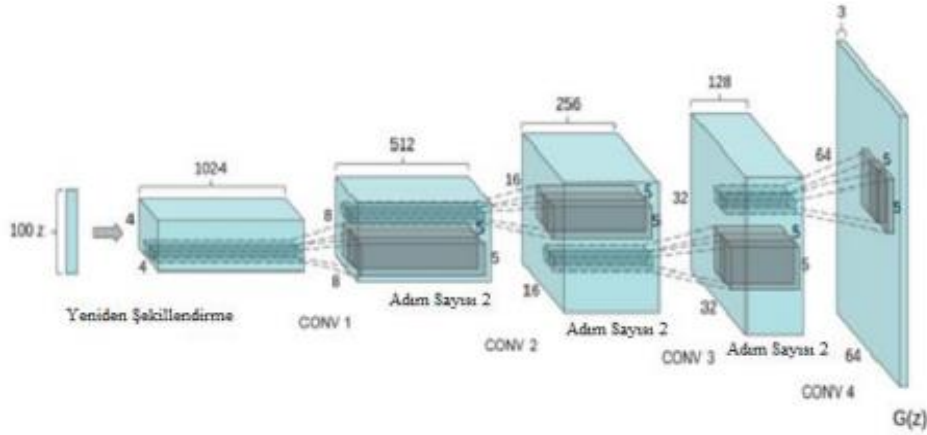
GAN'ın birçok farklı modeli bulunmaktadır. Her model problem veya amaca göre değişiklik göstermektedir. Çıkan sonuçların daha iyi olması üzerine çalışan bazı modeller bulunmaktadır. Bunlardan biri ağ yapısında Convolution (Evrışim) ve DeConvolution (Ters Evrışim) kullanan bir modele sahip olan DCGAN'dır (Radford, A. ve ark. 2015). Bu model özellikle resimler, fotoğraflar oluşturma üzerinedir. Ayırt Edici evrışimsel ağ yapısına sahip olup aldığı görüntüyü evrışimsel katmanlardan ve filtrelerden geçirerek bir değer döndürür. Üretici ise ters evrışimsel ağ yapısını kullanarak gelen rastgele gürültü dizisini filtreler ile katmanlardan geçirerek çıkışa bir görüntü olarak verir. Bu ağa benzer bir diğer model BigGAN'dır (Brock, A. ve ark. 2018). Bu model kademeli olarak görüntünün çözünürlüğünü arttırarak daha dengeli bir yapı elde etmek üzerinedir. Katmanlar halinde olan Üretici ağ, her katmanda bir önceki katmanın çıkışını alır ve sonra görüntünün boyutunu iki katına çıkarıp bir sonraki katmana verir. Ayırt Edici ise bunun tam tersi olarak her katmanda görüntüyü küçültür. Bunu yaparken her katmanda özellik çıkarır ve son karar katmanında bunları kullanarak bir sonuca varır. Bu sonuç orijinal GAN modelindeki gibi 0 ila 1 arasında bir sayıdır.

Eğer problem ayrıca koşullu sonuçlar üretilmesini gerektiriyorsa başka bir GAN modelinden faydalanılmalıdır. CGAN (Mirza, M. ve ark. 2014) bu modellerden biridir. CGAN diğer GAN modellerinden farklı olarak öğrenme sonucunda rastgele sonuçlar üretmektense belli bir kural çerçevesinde sonuçlar üretilmesi üzerinedir. Orijinal GAN modelinde, Ayırt Edici ağa sahte veya gerçek örnekler verilir ve bunları ayırt etmesi istenir. Üretici ise rastgele oluşturulmuş gürültü dizisiyle ürettiği sahte örneklerin, ne kadarının Ayırt Edici tarafından tespit edildiğine göre kendini günceller. CGAN'da ise Üretici ve Ayırt Edicinin girişlerine ekstradan belirlenen kurala göre oluşturulan bir veri eklenir. Böylece Ayırt Edici oluşturulan örnekleri, sahte olup olmadığını yanı sıra belirtilen kurala da uyup uymadığını kontrol eder. Ayırt Edicinin bu özelliği sayesinde Üretici

gerçekçi örnekler üretse de belirtilen kurala uymadığında Ayırt Edici tarafından düzenlenmesi için zorlanır. Buradaki kurallar örneklerin türleri modele ve istenen sonuca göre değiştirilebilir. Aynı amaçla MCGAN (Park, H. ve ark. 2018) ise tek bir kural yerine çok koşullu kurallar ile sonuçlar üretilmesi içindir.

GAN'da oluşabilen problemlere karşı ise farklı GAN modeli önerilmiştir. Bunlardan biri WGAN'dır (Arjovsky, M. ve ark. 2017). Bu modelde orijinal GAN modelindeki kayıp/hata fonksiyonu olan Jensen-Shannon Uyuşmazlığı yerine Wasserstein Mesafesi kullanılır. Bu sayede bazı durumlarda oluşan mod çökmesi, gradyanların kaybolması gibi eğitimi etkileyen etkenler minimize edilmiş olur. WGAN'a benzer olarak yine aynı sorunların önüne geçmek için LSGAN (Mao, X. ve ark. 2017) modelinde en küçük kareler hata fonksiyonunun kullanılmaktadır.

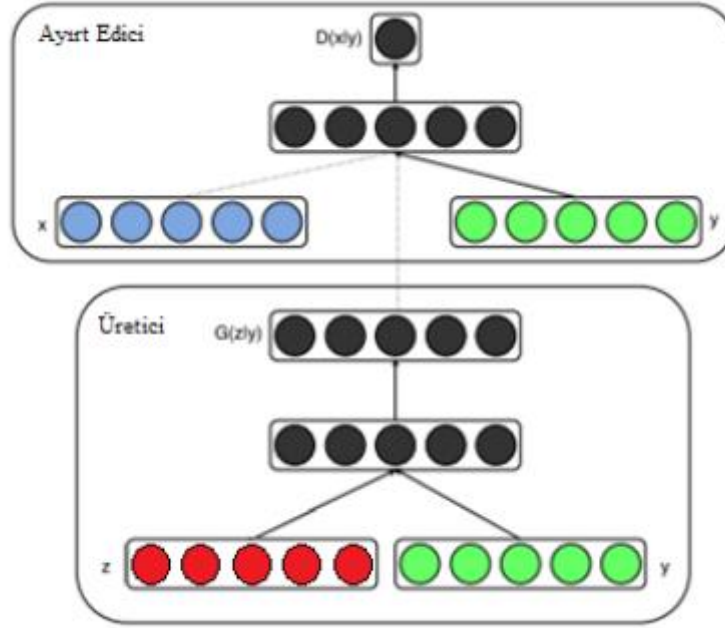
DCGAN, resim/fotoğraf gibi veriler oluşturmak üzere evrimsel katmanlar ve filtreler kullanır. Bu katmanlar ve filtreler veriler üzerinden bir takım özellik matrisi çıkarır. Her katmanda giriş bir önceki katmanın çıkarttığı özellik matrislerini de kullanarak görüntüyü oluşturmaya ya da ayrıştırmaya çalışır. Şekil 3'te (Radford, A. ve ark. 2015) DCGAN modelinin Üretici (G) ağının nasıl katman ve adımlardan geçtiği gösterilmiştir.



**Şekil 3.** DCGAN Üretici Ağ modeli (Radford, A. ve ark. 2015)

Şekil 3'te de görüldüğü gibi Üretici (G) rastgele üretilen gürültü dizisi olan  $z$  verisini ilk olarak  $4 \times 4 \times 1024$  boyutunda yeniden şekillendirdikten sonra özellik evrişim katmanları ile sonuçta  $64 \times 64 \times 3$  boyutlu bir görüntüye dönüştürmektedir. Ayırt Edici ağ ise Üreticinin tersini, devrik evrişim kullanarak yapar ve karar katmanına çıkardığı özellikleri vererek 0 ila 1 arasında bir puanlama yapar. Bu puanlama sonucuna göre orijinal GAN modelindeki gibi hatalar hesaplanır, istenilen hata oranına gelene kadar ağdaki her katmanın ağırlığı güncellenerek eğitime devam edilir.

CGAN, orijinal GAN modelindeki gibi rastgele sonuçlar üretmektense belli kriterleri sağlayan sonuçların üretilmesi üzerinedir. CGAN'ın ağ şeması Şekil 4'teki gibidir (Mirza, M. ve ark. 2014).



Şekil 4. CGAN, Üretici ve Ayırt Edici ağ şeması (Mirza, M. ve ark. 2014)

Şekil 4'te görüldüğü gibi orijinal GAN modelinden farklı olarak girişe ayrıca  $y$  adında bir dizi eklenir. Bu dizini herhangi bir şekilde olabilir (Mirza, M. ve ark. 2014). Bir sınıflandırma etiketi eklenmesi durumunda ağ bu sınıflandırma kriterlerine bağlı bir öğrenme yapacak ve istenilen sonucun üretilmesini sağlayacaktır.

WGAN modeli Denklem (1)'de kullanılan fonksiyon yerine daha stabil, daha az maliyetli bir öğrenme yöntemi olarak farklı bir fonksiyon önermiştir. Wasserstein Mesafesi olarak adlandırılan bu fonksiyon Denklem (6)'de görüldüğü gibidir (Arjovsky, M. ve ark. 2017).

$$W(P_r, P_g) = \inf_{\gamma \in \Pi(P_r, P_g)} E(x, y) \sim \gamma [\|x - y\|] \quad (6)$$

$\Pi(P_r, P_g)$  tüm eşzamanlı dağılımların kümesini temsil eder, burada marjinal dağılımlar sırasıyla  $P_r$  ve  $P_g$ 'dir. Sezgisel olarak,  $\gamma(x, y)$ , dağılımları  $P_r$ 'yi  $P_g$ 'ye dönüştürmek için  $x$ 'ten  $y$ 'ye taşınması gereken "kütle" miktarını gösterir. Wasserstein mesafesi, en iyi taşıma planının "maliyeti" dir (Arjovsky, M. ve ark. 2017).

Tablo 1'de ayrıca bazı GAN modelleri ve FID metriğine yani fréchet başlangıç mesafesine göre hangi veri setinde ne kadar başarılı oldukları gösterilmektedir (Li, Z. ve ark. 2022). FID oluşturulan görüntülerin dağıtımını bir dizi gerçek görüntünün dağıtımıyla karşılaştırır.

**Tablo 1.** FID metriğine göre (düşük olan daha iyi) bazı GAN modellerinin FFHQ-babies, FFHQ-sunglasses, face sketches veri setlerinde başarıları gösterilmektedir (Li, Z. ve ark. 2022).

Modeller	FFHQ-babies	FFHQ-sunglasses	face sketches
TGAN (Wang, Y. ve ark. 2018)	104.79	55.61	53.41
TGAN+ADA (Karras, T. ve ark. 2020)	102.58	53.64	66.99
MineGAN (Wang, Y. ve ark. 2020)	98.23	68.91	64.34
KD-GAN (Hou, X. ve ark. 2022)	68.67	34.61	35.87
StyleGAN2 (Karras, T. ve ark. 2020)	184.77	-	94.16
StyleGAN2+MDL (Kong, C. ve ark. 2022)	93.15	-	40.02
FastGAN (Liu, B. ve ark. 2020)	-	-	76.28

### 2.1.3. Diğer Yöntemler ve Araştırmalar

Sakal ekleme üzerine olan farklı çalışmalardan biri olan “Intuitive, Interactive Beard and Hair Synthesis with Generative Models” (Üretken Modellerle Sezgisel, İnteraktif Sakal ve Saç Sentezi) (Olszewski, K. ve ark. 2020) adlı makalede farklı bir yöntem olarak girişten maske olarak alınan sakal veya saç konumu ile eklenecek sakal veya saçın kılavuz vuruşları denen çizimini giriş olarak almaktadırlar. Bunu iki parçadan oluşan bir ağ kullanarak oluşturmuşlardır. Ayrıca bu makale de ki model interaktif olarak görüntü üzerinde değişiklik yapmaya izin vermektedir. Bunun için kullanıcıdan yine saç veya sakal olduğu bölgenin seçilmesi istenmektedir. Böylece hangi bölgede çalışılacağı bilinerek yeni girdi olarak alınan saç veya sakal çizimi fotoğraf üzerinde yeni girişe göre güncellenmesi sağlanır.

Görüntüler üzerinde istenmeyen gölgeler, filigran vb. durumların kaldırılması için “Unsupervised Portrait Shadow Removal via Generative Priors” (Üretken Öncelikler aracılığıyla Denetimsiz Portre Gölgesini Kaldırma.) (He, Y. ve ark. 2021) adlı makalede önerilen model ise eğitilmiş StyleGAN2 ile tamamen gölgelendirilen görüntülerin MaskNet ağı ile tersine çevrilmesi işlemi yapılarak eğitim yapılmıştır.

Bir diğer yöntem olarak “Generating Synthetic Disguised Faces with Cycle-Consistency Loss and an Automated Filtering Algorithm” (Döngü Tutarlılığı Kaybı ve Otomatik Filtreleme Algoritması ile Sentetik Gizlenmiş Yüzler Oluşturma) (Ahmad, M. Ve ark. 2021) adlı makalede CNN ağlar kullanarak yüz fotoğraflarına saç, sakal, maske vb. eklemeler yapılmıştır. Çalışmada Döngü Tutarlılığı Kaybının kullanılması ile görüntünün tamamının öğrenmek yerine bir alandan öğrenme

sağlanmış olundu. Bu durum sadece saç, sakal gibi bölgelerin eğitime dahil edilmesini sağladığı görülmüştür.

GAN kullanarak yazılı bir açıklamadan resim oluşturma üzerine yapılan bir çalışma olan “Optimal text-to-image synthesis model for generating portrait images using generative adversarial network techniques” (Üretken Çekişmeli Ağ tekniklerini kullanarak portre görüntüleri oluşturmak için en uygun metinden görüntüye sentez modeli) (Berrahal, M. ve ark. 2022) adlı makalede ise bazı GAN modellerinin iyileştirilmesi ile metin tabanlı resim üretimi üzerinde çalışılmıştır. Bu makalede DF-GAN (Tao, M. ve ark. 2022) modeli için ekstra ağlar gerekmeden üreticiyi geliştirmek amacıyla ayırt edici ağı hedefe duyarlılığını arttırmak üzerine bir öneride bulunmuştur. Attn-GAN (Xu, T. ve ark. 2018) için ise ilk aşamada düşük çözünürlüklü görüntüler oluşturmak için metin vektöre dönüştürülür ve ardından bu makalede önerilen portre görüntüler oluşturmak için metinden görüntüye sentez modeli ile birleştirilir. Böylece modelde iyileşme sağlanmış olur.

### 3. Materyal ve Metotlar

#### 3.1. Ön işlemler ve Araçlar

Bu çalışma insan yüzlerinde belirlenen kurallara göre saç, sakal, kellik gibi modifikasyonların yapılması üzerinedir. Bunun için CelebA (Liu, B. ve ark. 2015) veri setinden bu türlere göre rastgele seçilen yaklaşık 8200 fotoğraf ile eğitim gerçekleştirilmiştir. Eğitim için Python Tensorflow Keras ve Cuda'dan yararlanılmıştır. Ön işlem olarak seçilen rastgele fotoğraflar 178x218 boyutunda olduğundan ortalanarak 178x178 şekilde kırpılmış ve 64x64'e sıkıştırılmıştır. Eğitim sırasında ayrıca rastgele düşük Gauss gürültüleri eklenilmiştir. Bu gürültüler az örnekler ile eğitim yaparken veri çeşitliğinin artırılması ve Üretici-Ayırt Edici dengesinin sağlanması içindir. Kısıtlı bellek miktarından, eğitim sırasında sürekli yeniden görüntüleri işleme durumu olmaması için ekstra veri artırma işlemleri uygulanmamıştır. Var olan yaklaşık 8200 fotoğraf da görüntüler döndürülmüş, sağdan, soldan çekilmiş olarak bulunmaktadır. Bu yüzden eğitimde her döngüde gauss gürültüsü oranı rasgele bir şekilde bir miktar artırılıp azaltılmıştır.

#### 3.2. Veri Seti

Bu çalışmada CelebA (Liu, B. ve ark. 2015) veri seti kullanılmıştır. Bu veri setinde her görüntünün hangi özelliklere sahip olduğu etiketlenmiş bir şekilde bulunmaktadır. Bu özelliği nedeniyle bu veri seti seçilmiştir. Veri setinde görüntüdeki insanın sakalı var ise sadece etiket olarak sakal etiketine 1 yok ise -1 olarak yazılmıştır. Sakalın fotoğrafın neresinde olduğu bilgisi



verilmemiştir. Bu eğitim sırasında sadece fotoğraflar arasındaki farka dayalı olarak saç, sakal verisini ağı kendi başına öğrenmesi sağlamaktadır. Fakat bu veri seti kare görüntülerden oluşmamaktadır. Bu nedenle ayrıca görüntüler kırılıp sıkıştırılmıştır. Bu veri setinin bir diğer dezavantajı ise görüntülerin büyük bir kısmının bozuk olması. Şekil 5'te bu tarz bozuk görüntülere örnek verilmiştir.



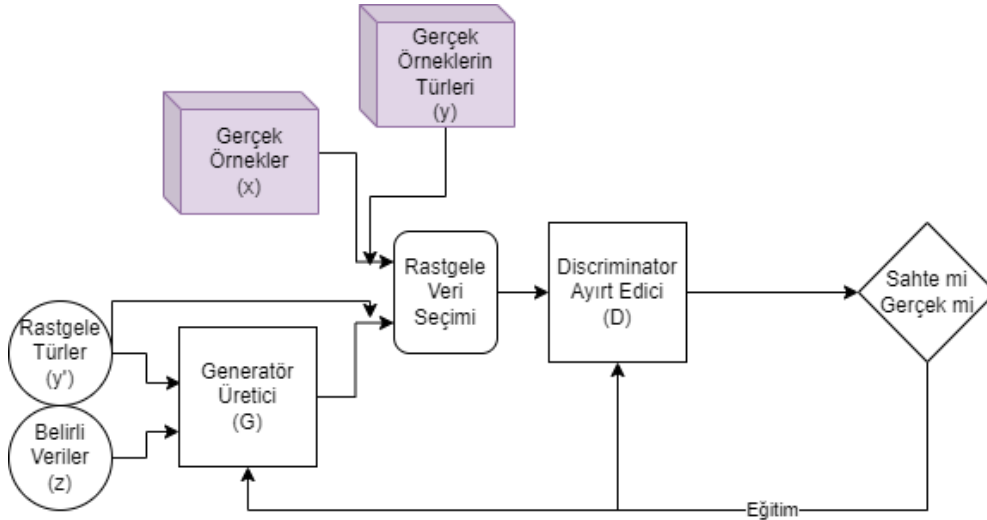
**Şekil 5.** Veri setindeki bazı bozuk görüntülere örnek

Şekil 5'te de görüldüğü gibi bazı görüntüler bozuk olmaktadır. Bu durum ağı eğitimi olumsuz etkilemektedir. Fakat veri setinin etiketleme durumu ve bazı bozuk görüntülerin ayıklanması sonucu bu veri setinin çalışma için uygun olduğu görülmüştür.

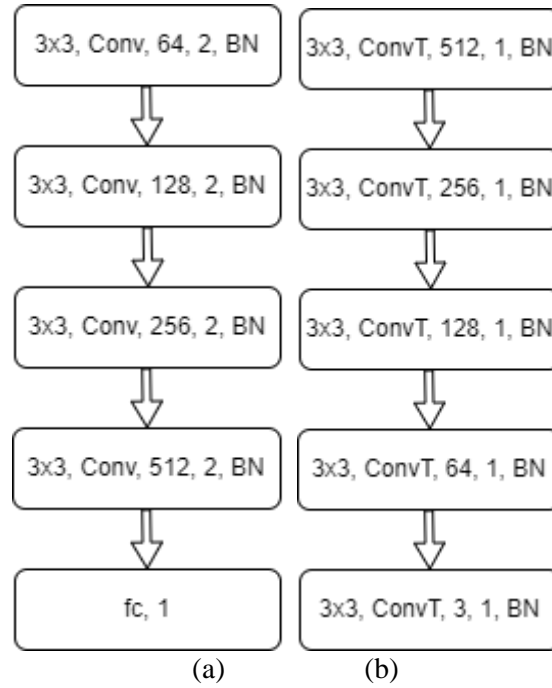
### 3.3. Uygulanan Yöntemler

Ağı yapısı olarak Ayırt Edici de evrişimli (convolutional) ağı ile üretilen görüntüler 64x64 ve rgb renk uzayında olup 4 katman evrişimli ve 1 katman tam bağlantılı (Fully Connected) olarak tasarlanmıştır. Üretici ağı da ise giriş 64x64 rgb uzayında bir görüntü olup 5 katman devrik evrişim (convolution transpose) kullanılmıştır. İki ağıda da her katmanda filtre boyutu 3x3 olarak kullanılmıştır. Ayrıca her katmanda eğitimi daha stabil hale getirmek için normalizasyon yapılmıştır. Oluşturulan farklı GAN modelinin eğitim sırasındaki yapısı Şekil 6'da görüldüğü gibidir. Şekil 7 (a) ve (b)'de uygun ağı şeması gözükmemektedir. Son katmanlar hariç her katmanda LReLU aktivasyon fonksiyonu kullanılmıştır. Üretici ağıda son katmanda tanh, Ayırt Edici ağı da ise son katmanda Logistic/Sigmoid aktivasyon fonksiyonları ile Denklem (7)'de gösterilen ikili çapraz entropi hata fonksiyonu kullanıldı (Ho, Y. ve ark. 2019).

$$J_{BCE} = -\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M [y_m \log(h_\theta(x_m)) + (1 - y_m) \log(1 - h_\theta(x_m))] \quad (7)$$



Şekil 6. Oluşturulan farklı GAN modelinin çalışma şeması



Şekil 7. Ağların şeması  
(a) Ayırt Edici ağ (b) Üretici ağ

Orijinal GAN modelinden farklı olarak gürültü yerine modifiye edilecek fotoğraflar  $z$  Üretici ağına, değiştirilmesi istenilen özellikler  $y'$  ile verilir. Üretici gelen örnekler ile koşul verilerini bir matris de birleştirerek istenilen türde resmi oluşturmaya çalışır. Bunun için Şekil 7 (b)'de ki Üretici ağ yapısı kullanıldı. Üretici tarafından üretilen görüntüler ile istenilen türler çıkışta birleştirilir, aynı durum gerçek örnekler üzerinde de uygulanır. Sonra bu veriler karıştırılarak ağ yapısı Şekil 7 (a)'da ki gibi olan Ayırt Edici ağına gönderilir. Bu ağ gelen örneklerin gerçek olmasına ve ayrıca verilen türle uyumlu olup olmadığına 0 ila 1 arası bir puanlama ile karar verir. "0" durumu uyumsuz veya sahte anlamına gelirken, "1" durumu uyumlu ve gerçek anlamına gelmektedir. Ayırt Edici için hata, gerçek görüntülere ne kadar sahte dediği ve sahte görüntüleri ne kadar gerçek olarak tahmin ettiğinin

toplamıdır. Üretici için ise hata, ürettiği görüntülerin Ayırt Edici tarafından ne kadar sahte olarak fark edildiğinin oranı kadardır. Bu işlemlerden sonra eğitim aşamasına geçilerek geri yayılım algoritmaları ile iki ağ, bu hata oranlarına göre yeniden ağırlıklandırılır. Bu işlem her döngüde tekrar edilir. Ayırt Edici ağ artık gerçek görüntüler ile sahte görüntüleri ayırt edemediğinde eğitim tamamlanmış olur.

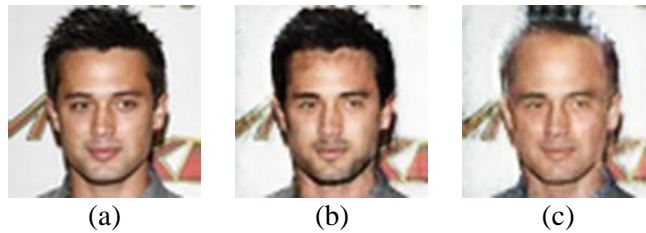
#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Çoğu GAN modelinden farklı olarak rastgele gürültüler ile rastgele sonuçlar üretmektense gerçek fotoğraflar üzerinde istenilen durumların oluşturulması bu çalışmanın temel amacıdır. Bu modele benzer CNN ağları bulunmakla birlikte çoğu ticari amaçlı olduğundan model yapısı paylaşılmamıştır. Herkesin erişiminde olan modeller için eğitim sırasında bu çalışmadaki gibi sakal ekleme veya kelleştirme için aynı kişinin farklı fotoğraflarını gerektirmektedir. Bu durum veri seti bulmakta ya da hazırlamakta zorluklara sebep olmaktadır. Fakat bu çalışmada hiçbir morfolojik filtre de kullanılmadan kellik ve sakallı durumları öğrendiği görülmektedir. Bu süreç, sadece fotoğraflar arasında ortak benzerliklerin ağ tarafından fark edilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Bu sayede sadece fotoğraf ve o fotoğrafın saç sakal bilgisinin etiketi eğitim için yeterli olmaktadır. Ayrıca sakalın, saçın işaretlenmesi veya aynı kişinin sakallı, sakalsız, kel, saçlı gibi fotoğraflarına eğitim aşamasında kullanılmasına gerek kalmamıştır.

##### 4.1. Deneysel Sonuçlar

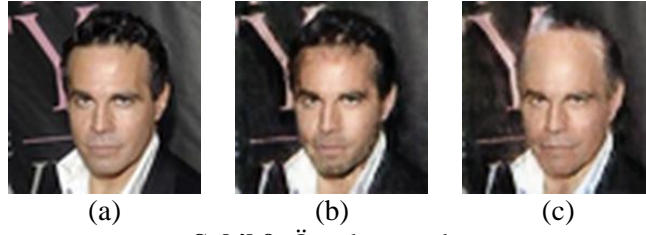
Şekil 7 (a) ve (b) de görünen modeller kullanılarak oluşturulan ağlar yaklaşık olarak her eğitim döngüsünde 203 saniye harcamıştır. Kullanılan makinede işlemci i7 8750H, ekran kartı Nvidia GTX 1060, 2x8gb 2667 Mhz ddr4 ram bulunmaktadır.

Saç ve sakal ekleme için eğitilen ağın yaklaşık 140 eğitim döngüsü için verdiği bazı örnek sonuçlar Şekil 8’de ve Şekil 9’da gözükmemektedir. Şekil 10’da eğitim sayısına göre sakal eklemeye ve kelleştirilmeye çalışılan bir örnek için sonuçlar görülmektedir.



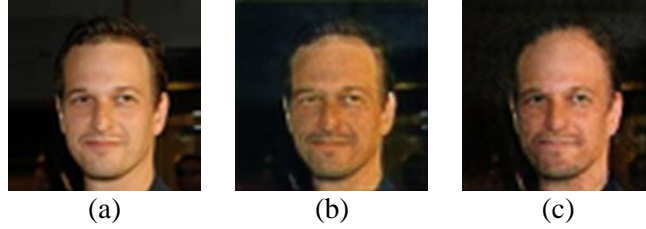
Şekil 8. Örnek sonuçlar

a) Girişten verilen fotoğraf b) Sakal eklenmiş çıkış c) Kelleştirme sonucu çıkış



Şekil 9. Örnek sonuçlar

a) Girişten verilen fotoğraf b) Sakal eklenmiş çıkış c) Kelleştirme sonucu çıkış

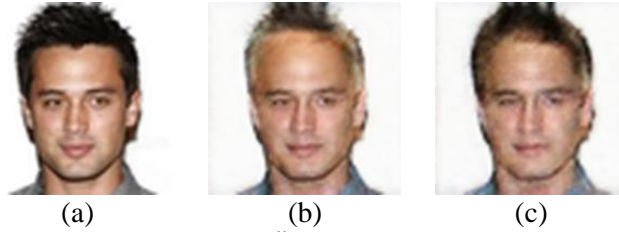


Şekil 10. Belli döngülerde sonuçlar

a) Girişten verilen fotoğraf b) 3. Döngüden sonra sonuç c) 60. Döngüden sonra sonuç

#### 4.1.1. Başarım Metriği ile Sonuçlar

Görüldüğü üzere eğitim süreci arttıkça görüntüdeki kelleştirme oranı ve sakal ekleme başarısı gözle görülür bir biçimde artmaya başlamıştır. Ayrıca geriye yönelik bir eğitim söz konusu olmamasına rağmen çıkan sonuç giriş olarak verilip eski fotoğrafı yeniden yapması istediğinde ortalama %62 bir başarıyla fotoğraf tekrar oluşturulabilmiştir. Fotoğrafların arka planı silinerek sadece yüz için hesaplandığında geriye döndürme ortalama %85 oranında olmuştur. Örnek bir fotoğraf Şekil 11’de görülmektedir.



Şekil 11. Örnek sonuçlar

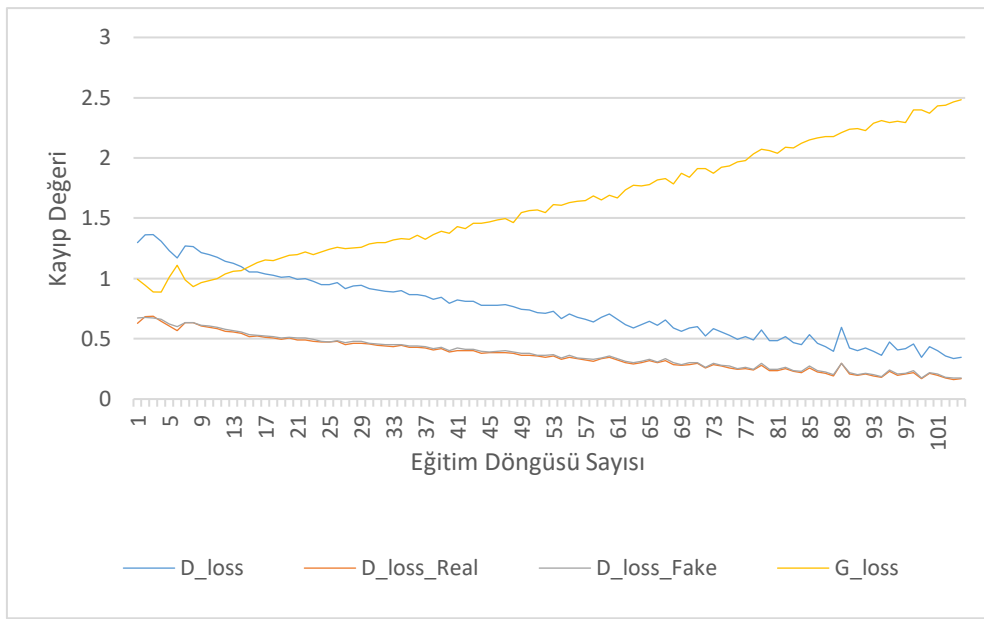
a) Girişten verilen fotoğraf b) Kelleştirme sonucu c) Tekrar saç ekleme sonucu

Bu oranların hesabında Denklem (8)’de ki Yapısal benzerlik indeksi ölçüsü diğer bir adıyla SSIM (Wang, Z. ve ark. 2004) fonksiyonu kullanılmıştır.

$$SSIM(x, y) = \left( \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \right) \left( \frac{2\sigma_{xy} + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \right) \quad (8)$$

## 4.2. Öneriler

Sonuçlarda görüldüğü gibi ağ kelleştirme işleminde daha az başarı göstermekle birlikte sakal ekleme işleminde daha başarılı görülmektedir. Kelleştirme adımında saçlara eklenen beyazlıklar veri setinde bulunan kel insanların tamamen kel olmadığı ve kalan saçlarının beyaz olmasından kaynaklı olduğu sonucuna farklı örneklerde de test edilerek ulaşılmıştır. Veri setindeki her görüntünün iyi olmaması, sakallı/kel ise sakalı/kelliği ne kadar az veya çok yoğun olsa da aynı etiket değerine sahip olması ve sadece 8200 farklı örnek ile eğitim yapılmasından dolayı mükemmel sonuçlar elde edilememiştir. İleride daha yüksek örnek sayısı ile daha yumuşak etiketli bir veri setiyle daha yüksek başarılı sonuçlar elde edilebilir.



Şekil 12. Eğitim döngüsüne göre Üretici (G) ve Ayırt Edici(D) kayıp oranları ikili çapraz entropi ile hesaplanmıştır.

Şekil 12’de eğitim döngüsüne göre Üreticinin hata oranı ile Ayırt Edici ağı sahte ve gerçek görüntüler için olan hata oranı gösterilmiştir. Ayrıca yine Şekil 12’de görüldüğü gibi Ayırt Edici kayıp değeri sürekli düşmektedir. Yani Üretici ağ yeteri kadar güçlü değil ya da Ayırt Edici ağ çok güçlüdür. Bu durumda eğitim ilerleyen aşamalarda durma noktasına gelmektedir. Çözüm olarak daha güçlü bilgisayarlarda daha gelişmiş bir Üretici ağ yapılabilir.

## Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Ahmad, M., Cheema, U., Abdullah, M., Moon, S., & Han, D. (2021). Generating synthetic disguised faces with cycle-consistency loss and an automated filtering algorithm. *Mathematics*, 10(1), 4.
- Berrahal, M., & Azizi, M. (2022). Optimal text-to-image synthesis model for generating portrait images using generative adversarial network techniques. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 25(2), 972-979.
- Boué, L. (2018). Deep learning for pedestrians: backpropagation in CNNs. arXiv preprint arXiv:1811.11987.
- Brock, A., Donahue, J., & Simonyan, K. (2018). Large scale GAN training for high fidelity natural image synthesis. arXiv preprint arXiv:1809.11096.
- Goodfellow, I. (2016). Nips 2016 tutorial: Generative adversarial networks. arXiv preprint arXiv:1701.00160.
- Ho, Y., & Wooley, S. (2019). The real-world-weight cross-entropy loss function: Modeling the costs of mislabeling. *IEEE access*, 8, 4806-4813.
- Hou, X., Liu, B., Wan, F., & You, H. (2022). Exploiting Knowledge Distillation for Few-Shot Image Generation. <https://openreview.net/forum?id=vsEi1UMa7TC/>
- I. Goodfellow, J. Pouget-Abadie, M. Mirza, B. Xu, D. Warde-Farley, S. Ozair, A. Courville, and Y. Bengio, 'Generative adversarial nets', in *Advances in neural information processing systems*, pp. 2672–2680, 2014.
- Karabayır İ. (2018). Gradyan ve Özel Bir Hiper Düzlem Temelli Yeni Bir Optimizasyon Algoritması: Evriştirilmiş Gradyan Yönü ile Optimizasyon. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Sayısal Bilim Dalı
- Karras, T., Aittala, M., Hellsten, J., Laine, S., Lehtinen, J., & Aila, T. (2020). Training generative adversarial networks with limited data. *Advances in neural information processing systems*, 33, 12104-12114.
- Karras, T., Laine, S., Aittala, M., Hellsten, J., Lehtinen, J., & Aila, T. (2020). Analyzing and improving the image quality of stylegan. In *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 8110-8119).
- Li, Z., Xia, B., Zhang, J., Wang, C., & Li, B. (2022). A comprehensive survey on data-efficient GANs in image generation. *arXiv preprint arXiv:2204.08329*.
- Liu, Ziwei and Luo, Ping and Wang, Xiaogang and Tang, Xiaoou (2015). Proceedings of International Conference on Computer Vision (ICCV). Deep Learning Face Attributes in the Wild
- Mao, X., Li, Q., Xie, H., Lau, R. Y., Wang, Z., & Paul Smolley, S. (2017). Least squares generative adversarial networks. In *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision* (pp. 2794-2802).
- Mirza, M., & Osindero, S. (2014). Conditional generative adversarial nets. arXiv preprint arXiv:1411.1784.
- Olszewski, K., Ceylan, D., Xing, J., Echevarria, J., Chen, Z., Chen, W., & Li, H. (2020). Intuitive, interactive beard and hair synthesis with generative models. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 7446-7456).
- Park, H., Yoo, Y., & Kwak, N. (2018). Mc-gan: Multi-conditional generative adversarial network for image synthesis. *arXiv preprint arXiv:1805.01123*.
- Radford, A., Metz, L., & Chintala, S. (2015). Unsupervised representation learning with deep convolutional generative adversarial networks. arXiv preprint arXiv:1511.06434.
- Salehi, P., Chalechale, A., & Taghizadeh, M. (2020). Generative adversarial networks (GANs): An overview of theoretical model, evaluation metrics, and recent developments. arXiv preprint arXiv:2005.13178.

- Tao, M., Tang, H., Wu, F., Jing, X. Y., Bao, B. K., & Xu, C. (2022). Df-gan: A simple and effective baseline for text-to-image synthesis. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 16515-16525).
- Wang, Y., Gonzalez-Garcia, A., Berga, D., Herranz, L., Khan, F. S., & Weijer, J. V. D. (2020). Minegan: effective knowledge transfer from gans to target domains with few images. In *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* (pp. 9332-9341).
- Wang, Y., Wu, C., Herranz, L., Van de Weijer, J., Gonzalez-Garcia, A., & Raducanu, B. (2018). Transferring gans: generating images from limited data. In *Proceedings of the European Conference on Computer Vision (ECCV)* (pp. 218-234).
- Wang, Zhou & Bovik, Alan & Sheikh, Hamid & Simoncelli, Eero. (2004). Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity. *Image Processing, IEEE Transactions on*. 13. 600-612. 10.1109/TIP.2003.819861.
- Xu, B., Wang, N., Chen, T., & Li, M. (2015). Empirical evaluation of rectified activations in convolutional network. arXiv preprint arXiv:1505.00853.
- Xu, T., Zhang, P., Huang, Q., Zhang, H., Gan, Z., Huang, X., & He, X. (2018). AttnGAN: Fine-grained text to image generation with attentional generative adversarial networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 1316-1324).
- WOS Topic: Generative Adversarial Networks
- Arjovsky, M., Chintala, S., & Bottou, L. (2017, July). Wasserstein generative adversarial networks. In *International conference on machine learning* (pp. 214-223). PMLR.
- Liu, B., Zhu, Y., Song, K., & Elgammal, A. (2020, October). Towards faster and stabilized gan training for high-fidelity few-shot image synthesis. In *International Conference on Learning Representations*.
- He, Y., Xing, Y., Zhang, T., & Chen, Q. (2021, October). Unsupervised portrait shadow removal via generative priors. In *Proceedings of the 29th ACM International Conference on Multimedia* (pp. 236-244).
- Kong, C., Kim, J., Han, D., & Kwak, N. (2022, October). Few-shot image generation with mixup-based distance learning. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 563-580). Cham: Springer Nature Switzerland.

## Waste Assessment of 1.275 MW<sub>P</sub> PV Plant: Case of Northern Cyprus

Nemika CELLATOĞLU BAYTIN<sup>1\*</sup> 

### Abstract

PV technologies gained significant importance during the last 2 decades by providing clean and renewable electricity. However, PV panels complete their operational life in 25-30 years and transform into hazardous waste for both human health and environment. Management of PV Waste is an important environmental issue which requires a detailed inventory of the PV Waste. In this study, the PV Waste inventory of 1.275 MW<sub>P</sub> PV Plant installed in Serhatköy Region of Northern Cyprus, on May 2011, is investigated. Results showed that, this plant will complete its operational lifetime in 13-18 years and generate the first bulk PV Waste in Northern Cyprus. Inventory analysis of the Serhatköy PV Plant revealed that 63476 kg of glass, 16807 kg of aluminum, 9230 kg of steel, 6640 kg of EVA, 807 kg of silicon, and 746 kg of copper can be recycled and recovered. Also, this study revealed that Northern Cyprus can catch the PV Waste Management targets of the European Union with a down-cycling PV Waste Strategy.

**Keywords:** PV Plant, PV Module, Waste Management, Material Recovery.

## 1.275 MW<sub>P</sub> Güneş Santralinin Atık Değerlendirilmesi: Kuzey Kıbrıs Örneği

### Öz

Son 20 yılda fotovoltaik teknolojileri temiz ve yenilenebilir elektrik ürettikleri için belirgin bir önem kazanmıştır. Bununla birlikte, güneş panellerinin operasyonel ömürlerinin yaklaşık olarak 25-30 yıl içinde tamamlamaktadır. Operasyonel ömrünü tamamlamış olan güneş panelleri, içerikleri dolayısı ile hem insan sağlığına hem de çevreye zararlı olabilmektedir. Operasyonel ömrünü tamamlayarak, elektronik atığa dönüşmüş güneş panellerinin ne şekilde depolanacağı veya yönetileceğine karar verilebilmesi için, bu atıkların içeriğindeki madde çeşitlerinin ve miktarlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Kuzey Kıbrıs'ın Serhatköy bölgesinde 2011 yılında kurulan 1.275 MW<sub>P</sub>'lık güneş santralının, operasyonel ömrünü tamamladığında ortaya çıkacak olan atık tür ve miktarları araştırılmıştır. Bu çalışma ile bu santralin operasyonel ömrünü 13-18 yıl içinde tamamlayacağı ve Kuzey Kıbrıs'ın ilk toplu fotovoltaik panel atıklarını oluşturacağı gösterilmiştir. Sonuçlar, santral ömrünü tamamladığında, uygun bir geri dönüşüm yöntemi ile 63476 kg cam, 16807 kg alüminyum, 9230 kg çelik, 6640 kg EVA, 807 kg silikon, ve 746 kg bakırın geri dönüştürülebileceğini göstermektedir. Bunun yanında, bu çalışma ile Kuzey Kıbrıs'ta kurulacak temel geridönüşüm sistemleri ile Avrupa Birliği hedeflerinin yakalanabileceğini gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş Santrali, Fotovoltaik Panel, Atık Yönetimi, Geridönüşüm.

<sup>1</sup>European University of Lefke, Faculty of Engineering, Northern Cyprus TR-10 Mersin, Turkey, [ncellatoglu@eul.edu.tr](mailto:ncellatoglu@eul.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 10.04.2023

Kabul/Accepted: 18.03.2024

Yayın/Published: 18.06.2024



## 1. Introduction

Photovoltaic (PV) technologies gained significant importance for meeting the rising electricity need of the world. PV technologies provide clean electricity, using solar energy, which is abundant and predictable by measuring solar irradiation reaching Earth's surface (Phinikarides et al., 2014). According to, Snapshot of Global PV Markets 2021, report of International Energy Agency(IEA), the cumulative installed capacity for PV at the end of 2020 reached at least 760.4 GWdc (Masson, 2021). There exist different kinds of PV technologies for the generation of electricity. PV panels are generally classified as; Crystalline silicon (monocrystalline or multi-crystalline); thin film and concentrator photovoltaics with emerging technologies (Xu et al., 2018).

PV technology contributes to preventing environmental problems associated with the consumption of fossil fuels. However, it must be pointed out that, each technology has an operational lifetime and it is converted to waste, at the end of this lifetime. The lifetime of PV modules is commonly considered to be 25-30 years. However, several factors like climatic conditions or technological improvements may result in the earlier replacement of the modules (Tan et al, 2022). PV Technologies, simply PV panels provide environmentally friendly electricity generation and perform zero CO<sub>2</sub> emission during operational life. Nevertheless, these panels turn into electronic waste at the end of their operational life and have the potential to create environmental problems (Qi and Zhang, 2017). The major ingredients of solar cells in PV panels can be listed as; Lead (Pb), tin (Sn), cadmium (Cd), silicon (Si), and Copper (Cu) (Mahmoudi et al., 2019; Weckend and Wade, 2016). Disposal of these listed elements to open landfill should be prevented since they have hazardous effects on both human health and the ecosystem (Abigail et al.,2022; Deng et al.,2019). Even more, it must be pointed out that; glass, EVA (ethylene-vinyl acetate), and aluminum are the major components of PV modules (Mahmoudi et al., 2019; Weckend and Wade, 2016), which all are recyclable substances, and disposal of these substances results in the loss of raw material. The waste management and disposal of PV modules require well planned and achievable strategy; since modules contain both recyclable substances and hazardous substances.

According to statistics collected by, Mahmoudi et al. (2019) (Mahmoudi et al.,2019), crystalline Silicon PV panels dominate the PV market since 1980 and will continue to be dominating until 2030 (Paiano, 2015; Weckend and Wade, 2016). Therefore, the global PV waste management strategies of countries should initially concentrate on recycling silicon-based panels, where waste management of other types of PV panels should be planned as well.

Despite the fact that PV installations are rising exponentially with the promoting energy policies, countries like the United States, China, Japan, and India lack regulations for the disposal of PV modules (Wang et al., 2022). Nevertheless, European Union revised the waste

electrical and electronic equipment (WEEE) directive and added the PV components as disposed electronic devices (Xu et al., 2018). According to the revised WEEE directive (2012/19/EU), from 2018 and beyond, it is targeted to recover 85% of PV panels and prepare 80% for reuse and recycling (Weckend and Wade, 2016).

PV installations and managing PV waste are especially important for the countries in Mediterranean Region, which has high solar energy potential. Northern Cyprus is a small island state, with a total surface area of 3355 km<sup>2</sup> in the Mediterranean region, and has huge potential for meeting electricity demand with solar energy. Although the region mainly meets the electricity demand by combusting fossil fuels, there exists a PV plant, located in the Serhatköy region with a capacity of 1.275 MW<sub>P</sub>.

Generating a PV waste management strategy has significant importance for states like Northern Cyprus which has limited resources. A well-planned PV waste management strategy requires inventory analysis of the possibly generated waste. In this study, the amount of waste generated by the disposal of 1.275 MW<sub>P</sub>, Serhatköy PV Plant, is analyzed with the aim of contributing to the possible PV waste management strategy of Northern Cyprus. The analysis considers only the waste produced by PV Panels whereas waste generated by other components like inverters or transformers is not considered. For that purpose, the composition and amount of PV panels used in the Serhatköy PV Plant is evaluated according to early loss and regular loss scenarios, by using Weibull Distribution. The possibility of loss for each substance in PV Panels is investigated according to each scenario. In this study, also, the possible way of catching targets of WEEE is for Northern Cyprus investigated.

## 2. Materials and Methods

The Serhatköy PV Plant is connected on grid on May 2011. The plant includes a total number of 6192 c-Si modules type KPV205 PE with 206 W<sub>p</sub> output each, manufactured by the Austrian KIOTO Photovoltaics, fixed tilt on mounting structures, 86 inverters, the AC connection, MV transformers, metering and control interfaces with the grid (Maltini and Minder, 2015). Figure 1 shows the site view of Serhatköy PV Plant. The plant layout surface is approximately 25,000 m<sup>2</sup>. The panel and module-cell specifications of the panels installed in Serhatköy PV Plant is shown in Table 1.

The material composition of c-Si panels is given by Mahmoudi et al. (2019) and shown in Table 2. Material inventory of Serhatköy PV Plant, which shows the amount of, precious metals (Ag), base and special metals (Al, Cu, Ni, Ti, Sn, Zn), hazardous metals (Pb), Critical Substances (Mg), Other Metals (Si, Steel) and other materials (glass and EVA) is evaluated by using Table 2.



**Figure 1.** Site view of Serhatköy PV Plant (Maltini and Minder, 2015)

The estimation of PV Waste amounts is generally investigated by two scenarios, which are Regular Loss and Early Loss. In regular loss scenario, it is assumed that the panel has a lifetime of 30 years, whereas early loss considers the failures before the 30-year lifetime span (Weckend and Wade, 2016). Early Loss and Regular Loss scenarios are generally modelled by using Weibull Function (Mahmoudi et al., 2019), given below;

$$P(t) = 1 - e^{-(t/T)^\gamma} \quad (1)$$

$P(t)$  is the Weibull Function which shows the probability of loss in  $t$  years in panel lifetime  $T$ , which is 30 years.  $\gamma$  is the shape factor of the Weibull function and it is 2.4928 for the early loss scenario and 5.3759 for the regular loss scenario (Weckend and Wade, 2016; Mahmoudi et al., 2019). Figure 2., shows how the probability of loss according to early loss and regular loss scenarios.

**Table 1.** Module-Cell Specifications of Serhatköy PV plant (Maltini and Minder,2015).

<b>Module and Cell Specifications</b>	
Quantity of Modules	6192
Supplier	KIOTO KPV 205 PE
Characteristics of Module	54 multicrystalline cells (156mm × 156mm)
Cells	6" multi-crystalline
Umpp	25.98 V
Impp	7.93 A
Uoc	32.57 V
Isc	8.44 A
Surface per kWp	7.26 m <sup>2</sup>
Power	205(Wp)
Area	1.49 m <sup>2</sup>
Weight	16.50 kg
Average Weight	0.08(kg/Wp)

**Table 2.** Material composition of c-Si PV Panels (Mahmoudi et al.,2019).

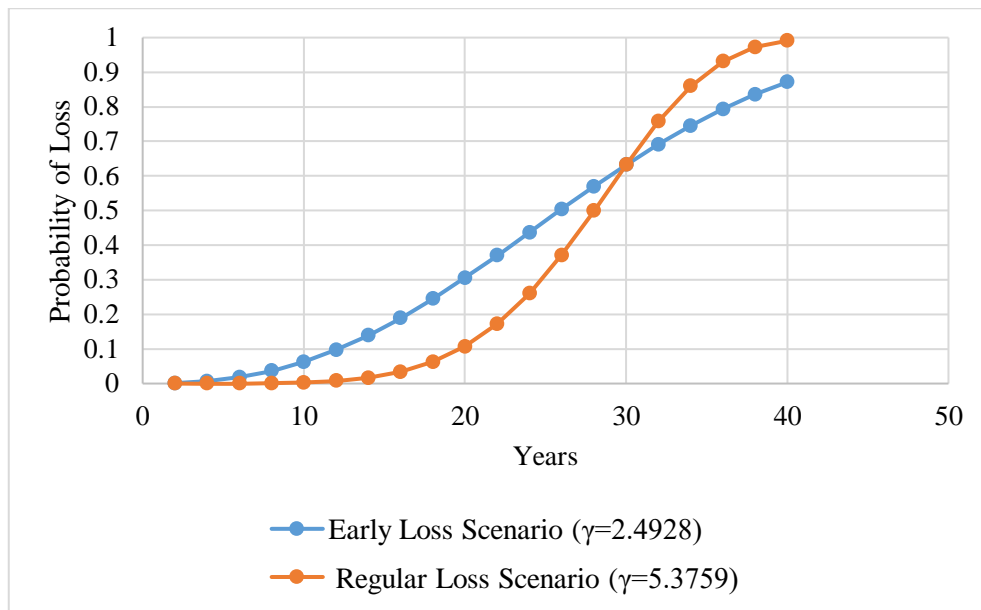
Substance	Composition Percentage (%)
Glass	65.4
Al	16.5
Steel	9.51
EVA	6.5
Si	0.791
Cu	0.731
Mg	0.52
Ag	0.0577
Pb	0.00467
Ni	0.00106
Ti	0.0000052
Sn	0.0000586
Zn	0.00000781

According to, Weibull distribution, there is a significant difference between early loss and regular loss in the first 20 years of installation. However, this difference is started to reduce after the 20<sup>th</sup> year of installation and the probability of loss becomes the same at the 30<sup>th</sup> year of installation, which is the operational lifetime of the PV Panels.

In this study, cumulative mass of the Glass, Al, Steel, EVA, Si, Cu in composition of c-Si Panels is calculated in kg, by using Equation (2), as given below:

$$M_{substance} = CP_{substance} \times m_{pv} \times N_{pv} \quad (2)$$

$M_{substance}$  represents the cumulative mass of each substance in composition of c-Si PV Panel (Glass, Al, Steel, EVA, Si, Cu).  $CP_{substance}$  is the composition percentage of the substance in PV Panel given by Mahmoudi et al. (2019) and listed in Table 2.  $m_{pv}$  and  $N_{pv}$  are the mass of single PV panel and number of PV Panels in Serhatköy PV Plant respectively, given in Table 1. The cumulative mass of each substance obtained from Equation (2), is multiplied by the Weibull Function, for calculating the probable amount of generated waste, for both early loss and regular loss probabilities in years.



**Figure 2.** Probability of loss according to Weibull distribution with Early Loss and Regular loss scenarios.

Almost all substances, Precious Metals, Base and Special Metals, Hazardous Metals, Critical Substances, Other Metals and Other Materials, in the composition of PV Panels are recyclable materials and their recovery yields are given in Table 3.

**Table 3.** Recovery yield of substances included in the composition of c-Si Panels.

Substance	Recovery Yield(%)	Source
Ag	95	Mahmoudi et al., 2019
Al	99.7	Mahmoudi et al., 2019
Cu	100	Mahmoudi et al., 2019
Ni	41	Mahmoudi et al., 2019
Ti	52	Mahmoudi et al., 2019
Sn	32	Mahmoudi et al., 2019
Zn	27	Mahmoudi et al., 2019
Pb	96	Mahmoudi et al., 2019
Mg	33	Mahmoudi et al., 2019
Si	99.9	Mahmoudi et al., 2019
Steel	95	Weckend and Wade, 2016
EVA	100	Weckend and Wade, 2016
Glass	95	Weckend and Wade, 2016

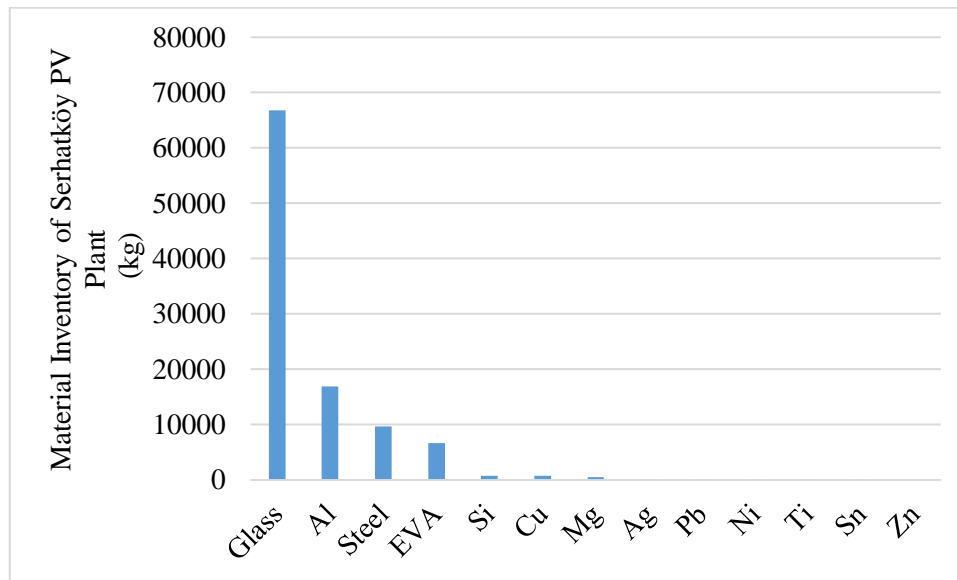
The potential amount of substance (Glass, Al, Steel, EVA, Si, Cu), which can be recovered by recycling PV Panels installed in the Serhatköy PV Plant, is calculated by using Equation (3);

$$M_{RC} = M_{substance} \times RY \quad (3)$$

$M_{RC}$  is the mass of the substance (Glass, Al, Steel, EVA, Si, Cu) obtained from the recovery.  $M_{substance}$  is the cumulative mass of each substance (Glass, Al, Steel, EVA, Si, Cu), obtained from Equation (2), and RY is the recovery yield of the associated substance shown in Table 3.

### 3. Findings and Discussion

Figure 3 shows the material inventory of the Serhatköy PV Plant obtained from Equation (2). Results showed that the main contributors of PV Panel waste will be Glass, Aluminium, Steel, and EVA, at the end of the operational life of the panels in the Serhatköy PV Plant. Also, the contribution of Silicon and Copper to generated waste is more significant compared to Mg, Ag, Pb, Ni, Ti, Sn, and Zn.

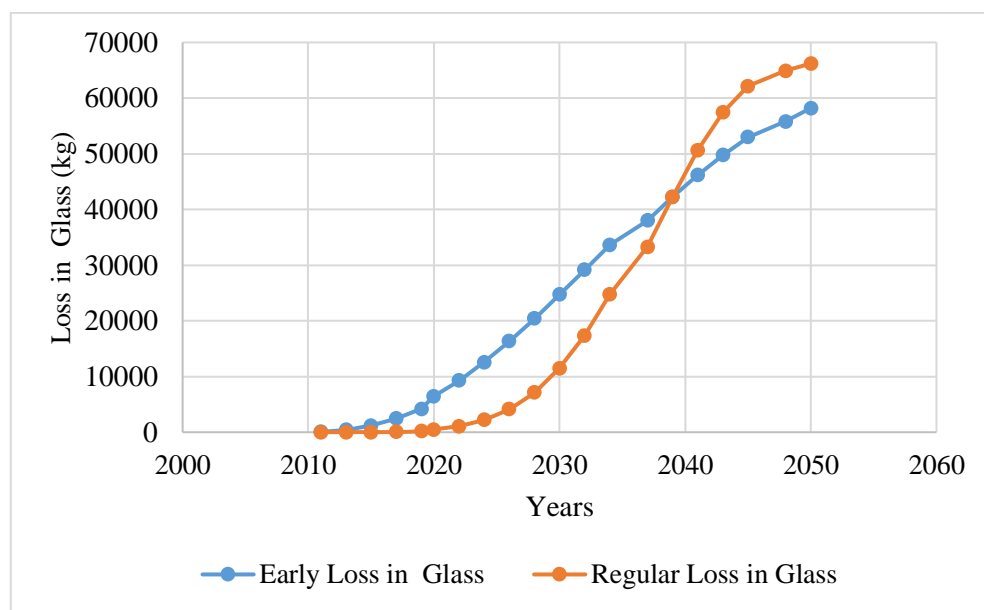


**Figure 3.** Material inventory of Serhatköy PV Plant

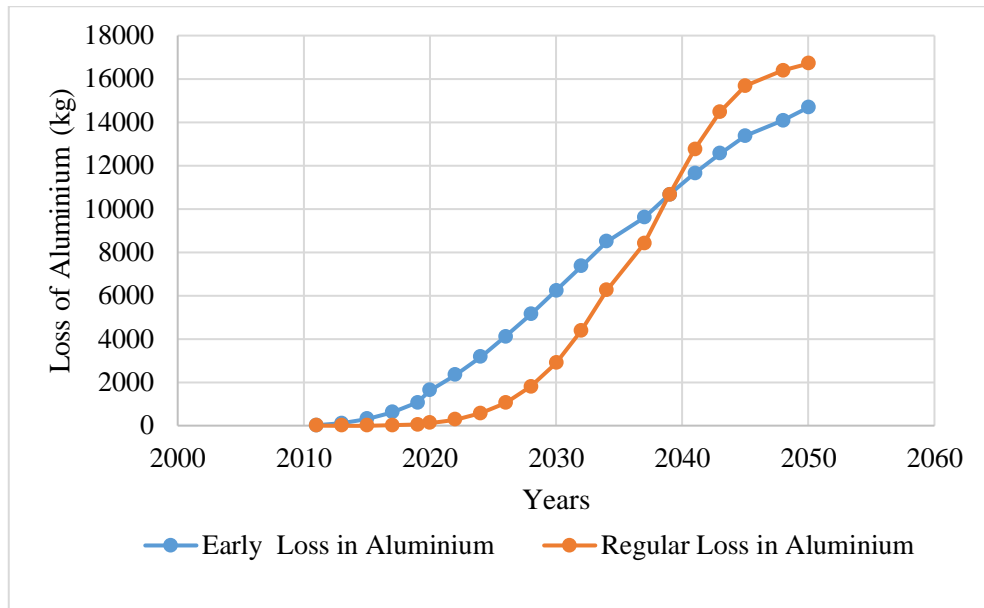
Results showed that; 66817 kg of glass will be disposed of at the end of the operational life of the PV Plant. However; there exists a rising possibility of loss in glass, after 2030, according to Weibull distribution of both early loss and regular loss scenarios as shown in Figure 4. The recovery rate of glass is 95% as given in Table 3 (Mahmoudi et al., 2019). The recovery and reuse of glass will

contribute to saving natural resources, sand, and soda ash (Ferdous et al., 2021). In addition, one ton of recycled glass saves 0.12 barrels of oil (19 litres), 42 Kwh of energy, 3.4 kg of air pollutants from being released, and 1.5 cubic meters of landfill space (LBRE, 2020). Also, Cerchier et al. (2021) showed that; PV glass can be used for building materials production and sustainable mortar.

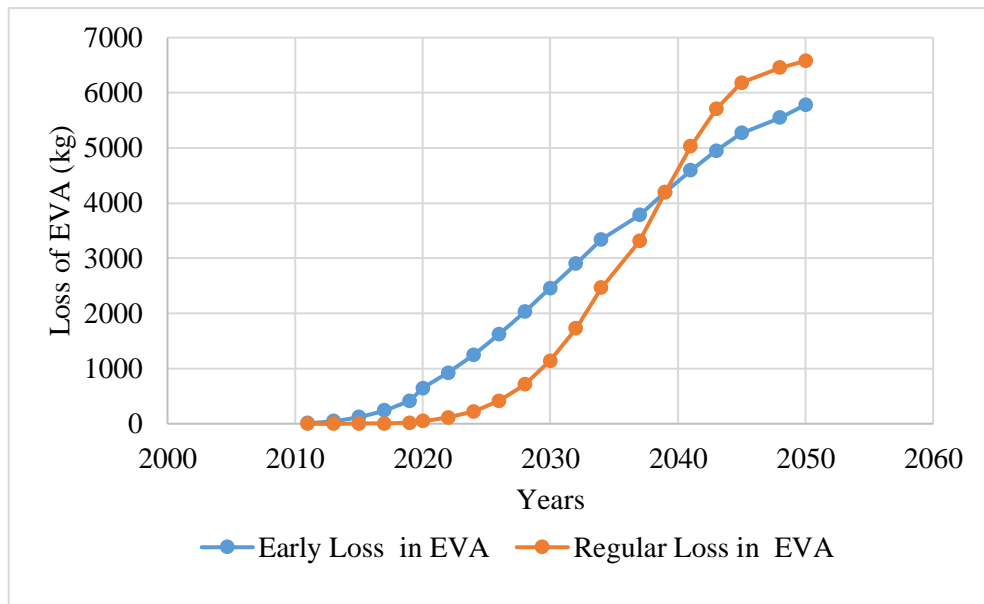
The material inventory of the Serhatköy PV plant showed that; approximately 16,857 kg of aluminium will be sent to landfills with disposal of Serhatköy PV Plant. Figure 5 shows the early loss and regular loss in Aluminium according to Weibull Function. Similar to the, glass the possibility of loss in aluminium also rises significantly after 2030. Approximately 6232 kg and 2900 kg of aluminium is expected to be sent to landfills according to early and regular loss scenarios respectively. Aluminium is mainly used in frames of the modules with a high recovery yield of 99.7% (Mahmoudi et al., 2019). Recycling aluminium contained in c-Si panels has the highest economic benefit, at approximately \$2.7/m<sup>2</sup>module (Deng et al., 2022). Also, Peng et al. (2019) showed that; recycled the life-cycle energy consumption and GHG emissions of recycled aluminium production is only 6.37% and 4.45% of the primary aluminium. Studies showed that recycling these frames contributes to reducing the life-cycle global-warming potential (kg CO<sub>2</sub>-eq) of PV modules by 12% (Deng et al., 2022, Jia et al., 2020).



**Figure 4.** Loss in Glass according to early loss and regular loss scenarios.



**Figure 5.** Loss in Aluminium according to early loss and regular loss scenarios.



**Figure 6.** Loss in EVA according to early loss and regular loss scenarios.

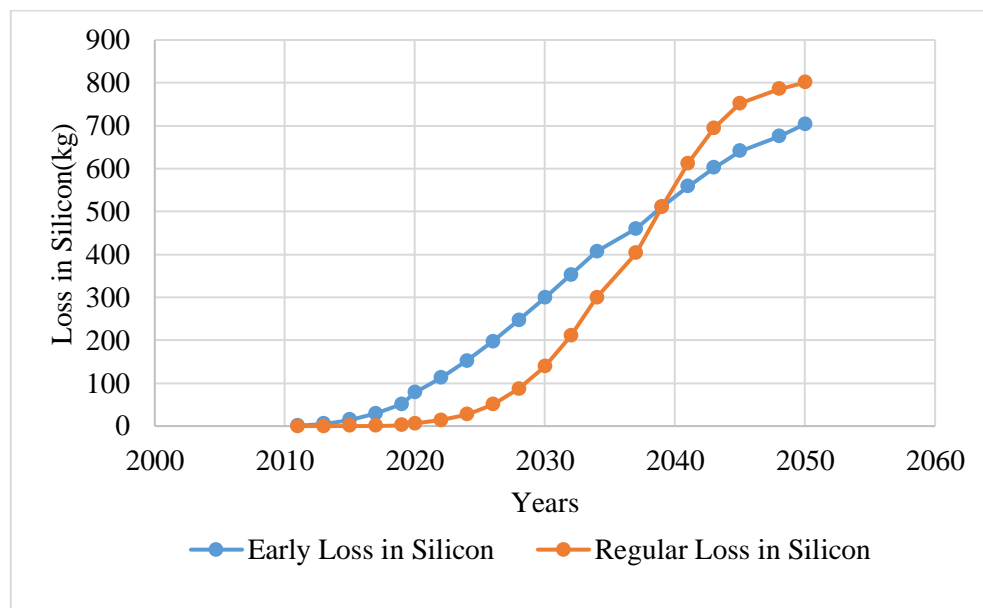
EVA (ethylene-vinyl acetate) is used as encapsulating material for the photovoltaic module and accounts for 6.5% of the total panel weight (Mahmoudi et al., 2019). In particular, EVA is a copolymer plastic material of ethylene and vinyl acetate and is used to assemble PV panels. The removal of the EVA is the first step for material recovery of end-of-life PV modules (Fiandra et al., 2019). Material inventory of Serhatköy PV Plant showed that, 6640 kg of EVA will be demolished within 2036-2041. However, early loss and regular loss scenarios of EVA, shown in Figure 6, show that the probability of regular loss significantly rises after 2030 similar to glass and aluminium. The recovery rate of EVA is 100% (Weckend and Wade, 2016). There exist thermal and chemical methods for the removal of EVA. Chemical Methods are including dissolving EVA in chemical solvents or acids (Doi



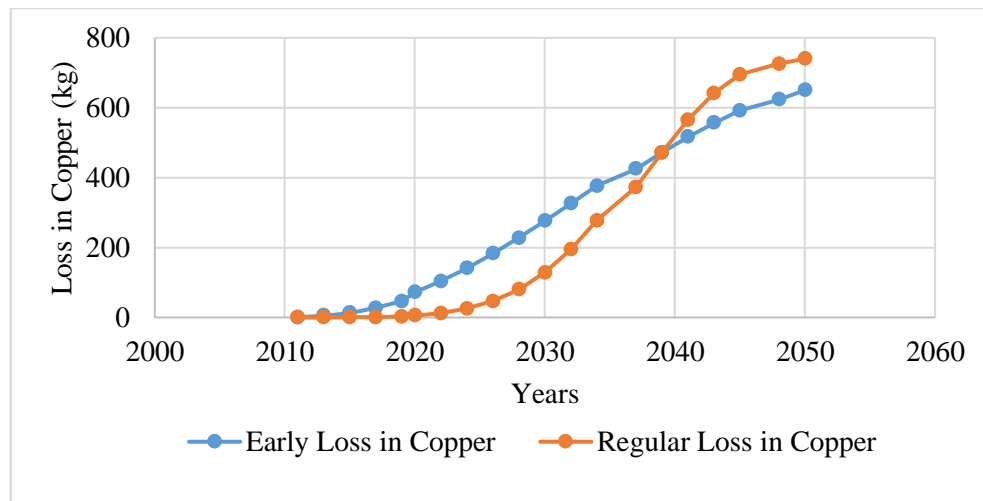
et al., 2001; Fiandra et.al., 2019 Kang et al., 2012; Kim and Lee, 2012) where thermal methods decompose EVA with pyrolysis (Fiandra et.al., 2019; Dias et al., 2016; Dias et al., 2017).

Silicon is one of the most important substances which can be recycled in PV Panels. Silicon production is an intensive energy-consuming process (Xu et al., 2018), where the energy and cost needed to recover silicon from recycled solar panels are equivalent to only one-third of those of manufacturing silicon directly (Choi & Fthenakis ,2010, Xu et al., 2018). Material inventory of the Serhatköy PV Plant showed that approximately 808 kg of silicon will be disposed of when the plant completes its operational life. Nevertheless, by 2030, 100 kg-300 kg of silicon is estimated to be lost according to regular loss and early loss scenarios respectively as shown in Figure 7.

Figure 8 shows the loss in Copper according to early loss and regular loss scenarios. Copper is one of the highly generated wastes from the disposal of PV Panels, the disposal of a 1.275 MW<sub>P</sub> PV Plant will result in the disposal of approximately 746 kg of Copper. As given in Table 3, the recovery yield of Copper is 100%. However, the removal of Copper requires the use of chemicals and exhaustive systems during the separation and purification process (Sah et al., 2022).



**Figure 7.** Loss in Silicon according to early loss and regular loss scenarios.



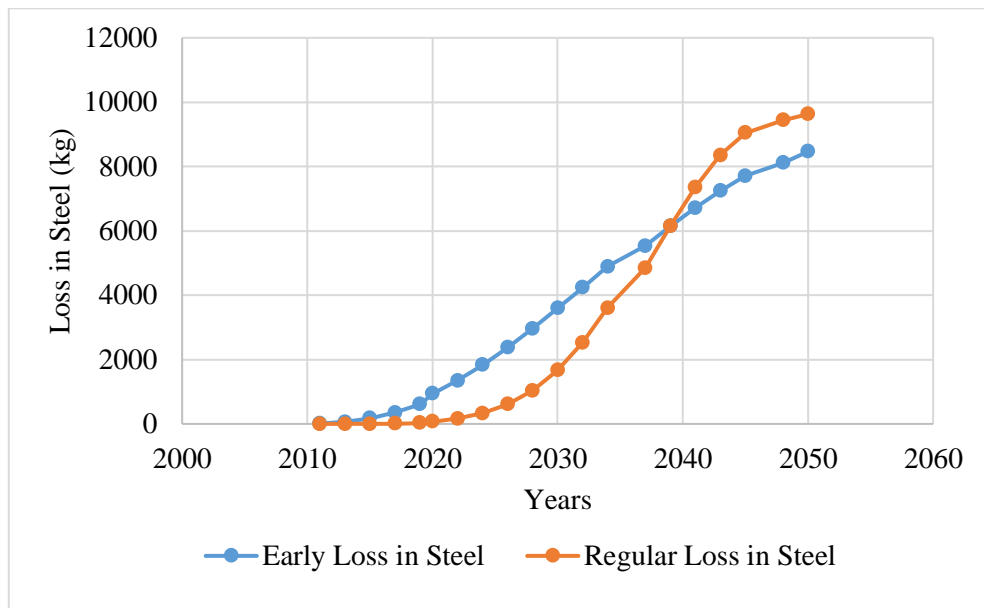
**Figure 8.** Loss in Copper according to early loss and regular loss scenarios.

Similar to Aluminium, steel is one of the metals used in frames (Komoto and Lee, 2018) of the PV modules and have a high potential, 95%, for recycling. According to the composition given by, Mahmoudi et al. (2019), it is estimated that almost 9716 kg of steel will be demolished in the 2050 from Serhatköy PV Plant as shown in Figure 9.

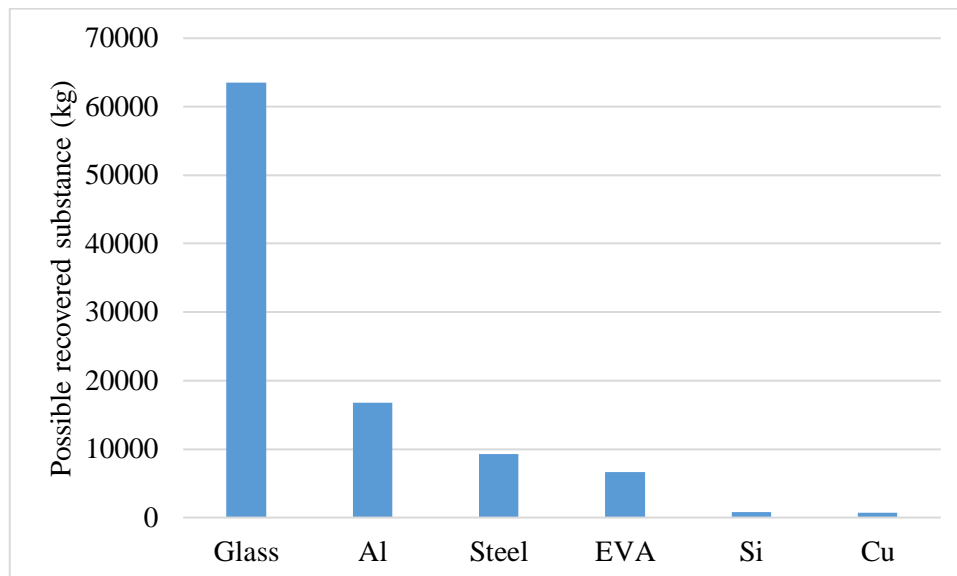
Figure 10 shows, the potential amount of substances that can be obtained from the recovery of the PV Panels installed in the Serhatköy PV Plant according to Equation (3). According to Figure 10, 63476 kg of glass, 16807 kg of aluminium, 9230kg of steel, 6640 kg of EVA, 807 kg of Silicon, and 746 kg of Copper can be recycled and recovered from Serhatköy PV Plant.

PV waste recycling and disposal is a challenging topic and recycling methods require chemical, thermal and mechanical treatments (Xu et al.,2018). Recycling technologies can be divided into two categories as; upcycling (high-valued recycling) and down-cycling (low-valued recycling) (Deng et al.,2019). Most companies in Europe use the down-cycling method for the disposal of PV waste (Wang et al.,2022). The down-cycling process starts with the removal of the Aluminium frame and the module is shredded which is followed by a manual and mechanical extraction process for the recycling of glass and aluminium (Wambach,2017). In addition, the ferrous material can be sent to a recycler where the remaining silicon, metal, plastic, and glasses which cannot be further separated by shredder are sent to a landfill.

Nevertheless, the upcycling technologies provide recovery of high-quality glass, silicon wafers, and also valuable metals with module delamination (Deng et al.,2019; Wang et al.,2022). Upcycling technologies are more cost and energy consuming, also more complex, compared to down-cycling technologies, because of the use of more energy and chemicals (Deng et al., 2019; Wambach, 2017; Duflou et. al. 2018).



**Figure 9.** Loss in Steel according to early and regular loss scenarios.



**Figure 10.** Materials obtained from the recovery of C-Si PV Panels.

In the meantime, Huang et al. (2017), showed that recovery of a 60-cell Si module can generate a revenue stream of \$16–17, and the revenue can cover the recycling cost and keep up a profitable recycling business without any government support.

Northern Cyprus is a small island state, with limited resources and industry. PV Plants are promising systems for producing electricity for states like Northern Cyprus, which suffers from lack of resources. However, this study showed that the disposal of a 1MW<sub>P</sub> PV Plant can be turned into a challenging issue at the end of its operational life. This study showed that the main contributors to PV waste of the Serhatköy PV Plant will be glass and aluminium. Although the waste of a 1MW<sub>P</sub> PV plant can be handled by landfilling, rooftop and commercial PV installations should also be

investigated for an achievable waste management strategy. According to statistics published by the Cyprus Turkish Electricity Authority (KIB-TEK), currently, Northern Cyprus can 5.56% of total generated electricity, from PV, with the contribution of rooftop and commercial applications in 2022, where PV Panels could only have contributed 0.11% of total electricity generation in 2018 with Serhatköy PV Plant (KIBTEK, 2022).

The PV installation statistics showed that Northern Cyprus needs urgent, sustainable, and achievable targets for the management of waste generated from PV Panels. The calculations based on Serhatköy PV Plant showed that the target stated by the WEEE of European Union can be reached by a down cycling strategy and almost 80%-85% of the generated PV waste can be recovered. Nonetheless, a detailed inventory analysis of rooftop and commercial installations should be conducted for constructing the most profitable management plan for PV waste in Northern Cyprus.

#### **4. Conclusions and Recommendations**

Serhatköy PV Plant, which operates since 2011, will complete its operational life in 2036-2041. It will be the first bulk PV waste of Northern Cyprus which is required to handle in 14-18 years. The early loss and regular loss scenarios based on Weibull distribution showed that the probability of loss after 2030 will rise significantly. Also, the climatic conditions in Northern Cyprus may result in an earlier disposal of the PV plant. This study showed that; a sustainable and achievable PV waste management strategy is urgent for Northern Cyprus. The PV waste management strategy of Serhatköy PV Plant has significant importance in that, it will determine the future of PV waste in Northern Cyprus. Results obtained from this study state that the target of the European Union with WEEE is achievable with a down-cycling plant. Further analysis of PV waste in Northern Cyprus, by considering whole PV installations, will indicate the most profitable way of PV waste management. Also, such a plant can contribute to the economy of the country by providing new job opportunities and investment opportunities.

#### **Statement of Conflicts of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

#### **Statement of Research and Publication Ethics**

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Abigail, H.L.D., Tariq, R. Mekaoui, A. E., Bassam, A., Lille, M. V. D. Ricalde, L. J., and Riech, I. (2022) Does recycling solar panels make this renewable resource sustainable? Evidence supported by environmental, economic, and social dimensions, *Sustainable Cities and Society*, 77,103539.
- Cerchier P., Brunelli K., Pezzato L., Audoin C., Rakotoniaina J.P., Sessa T., Tammaro M., Sabia G., Attanasio A., Forte C., Nisi A., Suitner H., and Dabalà M., (2021) Innovative Recycling of End of Life Silicon PV Panels: RESIELP, *Detrius*, 16, 41-47.
- Choi, J.K., and Fthenakis, V., (2010) Design and optimization of photovoltaics recycling infrastructure, *Environmental Science and Technology*, 44, 8678–8683.
- Cyprus Turkish Electricity Authority (KIB-TEK), İstatistikler – KIBRIS TÜRK ELEKTRİK KURUMU (kibtek.com), last accessed on 04.04.2023
- Deng, R., Chang, N.L., Ouyang, Z., and Chong, C.M. A techno-economic review of silicon photovoltaic module recycling, (2019) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 109, 532–550.
- Deng R., Zhuo Y., and Shen Y. , Recent progress in silicon photovoltaic module recycling processes (2022) *Resources, Conservation and Recycling*, 187, 106612.
- Dias, P.R., Benevit, M.G., and Veit, H.M., (2016) Photovoltaic solar panels of crystalline silicon: characterization and separation. *Waste Management & Research*, 34 (3), 235–245.
- Dias, P., Javimczik, S., Benevit, M., and Veit, H., (2017) Recycling WEEE: polymer characterization and pyrolysis study for waste of crystalline silicon photovoltaic modules, *Waste Management*, 60, 716–722.
- Doi, T., Tsuda, I., Unagida, H., Murata, A., Sakuta, K., and Kurokawa, K., (2001) Experimental study on PV module recycling with organic solvent method. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 67, 397–403.
- Duflou J.R., Peeters J.R., Altamirano, D., Bracquene, E., and Dewulf W., (2018) Demanufacturing photovoltaic panels: Comparison of end-of-life treatment strategies for improved resource recovery, *CIRP Annals*, 67(1), 29-32.
- Ferdous W., Manalo A., Siddique R., Mendis P., Zhugee Y., Wong H. S., Lokuge W., Aravinthan T., and Schubeli P., (2021) Recycling of landfill wastes (tyres, plastics and glass) in construction – A review on global waste generation, performance, application and future opportunities, *Resources, Conservation and Recycling*, 173, 105745.
- Fiandra, V. , Sannino, L., Andreozzi, C., and Graditi, G. (2019) End-of-life of silicon PV panels: A sustainable materials recovery process, *Waste Management*, 84, 91-101.
- Huang, W.H., Shin, W.J., Wang, L., Sun, W.C., and Tao, M., (2017) Strategy and technology to recycle wafer-silicon solar modules, *Solar Energy*, 144, 22-31
- Jia, X. , Lv, F., Li, P., Wang, W. (2020) Life-cycle assessment of p-type multi-Si back surface field (BSF) solar module in China of 2019, (2020), *Solar Energy*, 196 ,207-216.
- Kang, S., Yoo, S., Lee, J., Boo, B., Ryu, H., (2012) Experimental investigations for recycling of silicon and glass from waste photovoltaic modules, *Renewable Energy*, 47, 152–159.
- Kim, Y., and Lee, J., (2012) Dissolution of ethylene vinyl acetate in crystalline silicon PV modules using ultrasonic irradiation and organic solvent, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 98, 317–322.
- Komoto K., and Lee J-S., (2018) End-of-Life Management of Photovoltaic Panels: Trends in PV Module Recycling Technologies, IEA PVPS Task12, Subtask 1, Recycling Report IEA-PVPS T12-10:2018.
- LBRE 2020, Stanford Recycling: Land, Buildings & Real Estate, Peninsula Sanitary Service/Stanford Recycling, USA (2020), lbre.stanford.edu.
- Mahmoudi, S.; Huda, N., and Behnia, M. (2019) Photovoltaic waste assessment: Forecasting and screening of emerging waste in Australia, *Resources, Conservation & Recycling*, 146, 192–205.
- Maltini, F. and Minder, R. The Serhatköy photovoltaic power plant and the future of renewable energy on the Turkish Republic of Northern Cyprus (2015) In *Eco-Friendly Innovation in Electricity Transmission and Distribution Networks*, Woodhead Publishing: Sawston, UK, 377–402.
- Masson G., (2021), Snapshot of Global PV Markets 2021, International Energy Agency(IEA), Report IEA-PVPS T1-39:2021
- Qi, L., and Zhang, Y. , (2017) Effects of solar photovoltaic technology on the environment in China *Environmental Science and Pollution Research*, 24 22133–22142.
- Paiano, A., (2015) Photovoltaic waste assessment in Italy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 99-112.

- Peng, T., Ou, X., Yan, X., and Wang, G. (2019) Life-cycle analysis of energy consumption and GHG emissions of aluminium production in China, *Energy Procedia*, 158 3937-3943
- Phinikarides A., Kindyni N., Makrides G., and Georghiou, G.E., (2014) Review of photovoltaic degradation rate methodologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 143–152.
- Sah, D., Chitra, Kumar, S., (2022) Recovery and analysis of valuable materials from a discarded crystalline silicon solar module, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 246, 111908.
- Tan, V., Dias, P.R., Chang, N., and Deng, R. (2022) Estimating the Lifetime of Solar Photovoltaic Modules in Australia. *Sustainability*, 14, 5336.
- Wambach K., (2017) Life cycle inventory of current photovoltaic module recycling processes in Europe (2017), IEA PVPS Task12, Subtask 2, LCA Report IEA-PVPS T12-12:2017
- Wang, X., Tian, X., Chen, X., Ren, L., and Geng, C., A review of end-of-life crystalline silicon solar photovoltaic panel recycling technology, (2022), *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 248, 111976.
- Weckend, S., Wade, A., and Heath, G., (2016) End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels, IRENA AND IEA-PVPS.
- Xu Y., Li J., Tan Q., Peters A.L., and Yang C., (2018) Global status of recycling waste solar panels: A review, *Waste Management*, 75, 450-458.

## İpliği Boyalı Pamuklu Kumaşlarda Sürtme Haslığının Aşınma ve Yıkama Etkisiyle Değişimi

Gonca ŞİMŞEK GÜNDÜZ<sup>1\*</sup> 

### Öz

Tekstil mamulleri kullanımları sırasında sürekli aşınma ve yıkama etkisine maruz kalmaktadır. Bu etkiler kumaşların renklerinde solmaya neden olabilmektedir. İstenilen özelliğe uygun materyal, boyama yöntemi, boyama şartları gibi özelliklerin belirlenmesi ve buna göre üretim yapılması önemlidir. Çalışmada ipliği boyalı pamuklu kumaşlarda aşınma, yıkama süresi, yıkama sıcaklığı ve yıkama tekrarının sürtme haslığı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Aşındırma sayısı arttıkça yaş ve kuru sürtme haslıklarının düştüğü tespit edilmiştir. Tur sayısı en yüksek değer olan 15000'e çıkarıldığında yaş sürtme haslığı 3, kuru sürtme haslığı 4 olarak belirlenmiştir. İpliği boyalı kumaşların sürtme haslıklarının aşınma etkisine karşı yeterli düzeyde olduğu görülmüştür. Ayrıca, yıkama süresi, sıcaklığı ve tekrarı arttıkça yaş ve kuru sürtme haslıklarının düştüğü belirlenmiştir. İlk yıkama sonrası tüm yıkama sıcaklığı ve yıkama sürelerinde yaş sürtme haslıkları 3-4/5 arasında değişmiştir. İlk yıkama sonrası yaş sürtme haslıklarının yeterli düzeyde olduğu görülmüştür. Yıkama sayısı arttıkça yaş ve kuru sürtme haslıklarının kabul edilen değerlerden uzaklaştığı belirlenmiştir. 20 yıkama yapılan numunelerde yıkama sıcaklığı ve süresi arttıkça sürtme haslıklarının 1/2 – 2'ye kadar düştüğü görülmüştür. Yüksek sıcaklık ve sürede tekrarlı yıkamalara maruz kalacak ipliği boyalı tekstil mamullerinin kuru ve yaş sürtme haslıklarının geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** İpliği boyalı kumaş, Sürtme haslığı, Aşınma, Yıkama süresi, Yıkama sıcaklığı, Yıkama tekrarı.

## Change of Rubbing Fastness with Abrasion and Washing Effect on Yarn Dyed Cotton Fabrics

### Abstract

Textile products are exposed to constant abrasion and washing effect during their use. These effects can cause fading in the colors of the fabrics. It is important to determine the properties such as the material suitable for the desired feature, the dyeing method, the dyeing conditions and to produce accordingly. In the study, the effects of abrasion, washing time, washing temperature and washing repetition on rubbing fastness of yarn dyed cotton fabrics were investigated. It was determined that the wet and dry rubbing fastnesses decreased as the number of abrasion rounds increased. When the number of turns was increased to 15000, which is the highest value, the wet rubbing fastness was determined as 3 and the dry rubbing fastness was determined as 4. It has been observed that the rubbing fastness of the yarn-dyed fabrics is sufficient against the abrasion effect. In addition, it was determined that wet and dry rubbing fastnesses decreased as washing time, temperature and repetition increased. After the first wash, wet rubbing fastnesses varied between 3-4/5 at all washing temperatures and washing times. After the first washing, wet rubbing fastness was found to be sufficient. It was determined that as the number of washings increased, wet and dry rubbing fastnesses deviated from the accepted values. In the samples that were washed 20 times, it was observed that as the washing temperature and time increased, the rubbing fastness decreased to 1/2 - 2. It has been concluded that the dry and wet rubbing fastnesses of yarn dyed textile products that will be exposed to repeated washing at high temperatures and times should be improved.

**Keywords:** Yarn dyed fabric, Rubbing fastness, Abrasion, Washing time, Washing temperature, Washing repeat.

<sup>1</sup>Pamukkale Üniversitesi, Denizli Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Denizli, Türkiye, [gsimsek@pau.edu.tr](mailto:gsimsek@pau.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 04.09.2023

Kabul/Accepted: 04.04.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Tekstil mamüllerinin boyanmasında verimliliği artırmak için dikkat edilmesi gereken parametreler vardır. Bunların en önemlileri istenen rengin elde edilmesi ve kullanım alanına göre çeşitli haslık değerlerinin yeterli olmasıdır. Haslık, boyama veya baskı yöntemleriyle renklendirilmiş tekstil ürünlerinin üretimi ve kullanımı sırasında karşılaştığı çeşitli etkilere karşı dayanımıdır (Çoban, 2004). Haslık testleri, tekstil ürünlerinin karşılaşacağı fiziksel ve kimyasal etkiler sonucu gösterebileceği renk değişimlerinin derecesini veya başka ürünleri kirletme derecesini belirlemektedir (Duran, 2001).

Tekstil mamülleri kullanımları sırasında sürekli aşınma ve yıkama etkisine maruz kalmaktadır. Bu etkiler neticesinde kumaşların renklerinde açılma veya solma yaşanabilmektedir. Bir tekstilcinin üretilen mamülün kullanım alanına göre hangi özelliklerin istendiğini bilmesi önemlidir. İstenilen özelliğe uygun materyal, boyama yöntemi, boyama şartları gibi özelliklerin belirlenmesi ve buna göre üretim yapılması gerekmektedir. Konuyla ilgili yapılan literatür taraması sonucunda genellikle ard işlemler ve bitim işlemlerinin sürtme haslığı üzerine etkilerinin incelendiği görülmektedir.

Yurdakul ve arkadaşları (2003), çalışmalarında boyamadan sonra uygulanan bitim işlemleri ve kimyasallarının bazı haslık özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kullandıkları yumuşatıcıların yıkama haslığı ve yaş sürtme haslığını değiştirmediklerini belirtmişlerdir. Standart fiksatorlerin kuru ve yaş sürtme haslıkları üzerinde etkisi olmadığı, bazı özel fiksatorlerin, yaş sürtme haslığını ve yıkama haslığını bir miktar arttırdığı görülmüştür. Balcı ve Oğulata (2006) poliestер/viskon/elastan karışımli dokuma kumaşların bazı kullanım haslıklarını iyileştirmek için ilave yıkama denemeleri yapmışlar, bu denemelerin sürtme haslığı dahil olmak üzere haslık performansında değişen miktarlarda iyileşmeye sebep olduğunu belirtmişlerdir. Demir ve Mutlu (2006) kuru sürtme haslığını etkileyen faktörlerden art işlemlerin (fiksator, yumuşatıcı, kaynatma, sabunlama) etkisini inceledikleri çalışmada uygulanan ard işlemlerin önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. İçoğlu (2006) 3 farklı renk tonunda ve 4 ayrı yöntemeye göre (pad-batch, pad-steam, pad-termofiksaj, çektirme) dokuma kumaşları reaktif boyarmadde ile boyadığı çalışmada çektirme yöntemiyle boyanan kumaşların haslık değerlerinin genel olarak iyi olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca çalışmada yaş sürtünme haslığı açısından uygulanan yöntemlerin birbirlerine göre çok farklı olmadığı belirtilmiştir. Tamtürk (2007) 3 farklı konstrüksiyondaki %100 pamuklu dokuma kumaşları kullandığı çalışmasında uygulanan ön terbiye işlemleri ile kuru ve yaş sürtme haslıkları arasında anlamlı bir ilişki olmadığını tespit etmiştir. Özgürel (2008) çalışmasında koyu ton boyamalarda boyarmadde miktarının kuru sürtme haslığında bir değişikliğe yol açmadığını yaş sürtme haslığını değiştirdiğini belirtmiştir. Yumuşatıcı miktarındaki, tuz cinsindeki, su sertliğindeki, pH miktarındaki değişikliğin haslıklar üzerinde belirgin bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Oral (2011) askeri



kumaşların yapısal, mekanik ve bazı renk haslık özelliklerini karşılaştırmaktadır. Çalışmada kademeli olarak renk değişimlerini gözlemek amacıyla 30.000 devirde aşınma dayanımı ve 20 yıkama testi gerçekleştirmiş ve kullanım alanına uygun öneriler geliştirilmiştir. Yıldız ve arkadaşları (2012) yaptıkları çalışmada yumuşatıcı ve silikon kullanımının yaş ve kuru sürtme haslıkları dahil olmak üzere çeşitli haslık değerleri üzerine etkisi olmadığını belirtmişlerdir. Mughal ve arkadaşları (2013) haslık değerlerini yükseltmek için fiksator geliştirmiştir. Fiksator sonrası kuru sürtme değeri 4'ten 5'e, yaş sürtme değeri 3'ten 5'e yükselmiştir. Can ve Akaydın (2014) sürtme haslığının yıkama ile değişimini inceledikleri çalışmada, yıkama süresi, sıcaklığı ve yıkama tekrarı arttıkça kuru ve yaş sürtme haslıklarının düştüğünü belirtmişlerdir. Çalışmada yıkama sıcaklığı ve süresi arttığında yaş sürtme haslığındaki düşüşün kuru sürtme haslığındaki düşüşten daha fazla olduğu, yıkama tekrarı arttığında kuru sürtme haslığındaki düşüşün yaş sürtme haslığındaki düşüşe göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Belten ve Çetiner'in (2016) üç farklı molekül büyüklüğüne sahip dispers boyarmaddelerle Poliester/Viskon/Elastan kumaşların boyanmasını gerçekleştirdikleri çalışmaları boyarmadde molekül büyüklüğünün kuru ve yaş sürtme haslıkları üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığını göstermektedir. Özdemir ve Tutak (2016) çalışmalarında yapısında monoklortriazin ve vinilsülfon reaktif grup bulunan reaktif boyarmadde olan RR194 boyası ile farklı boyama şartlarında boyama yapmışlardır. Boyalı kumaşların yıkama öncesi ve sonrası K/S renk ölçümleri, yıkama ve sürtme haslıkları ve banyoda kalan boya analizi ile boya alım miktarları değerlendirilerek boyama koşulları belirlenmiştir. Can ve İnanç (2017) pamuklu bezayağı kumaşlarda aşınma tur sayısı ile sürtme haslığı değişimini incelemiş, aşındırma sayısı arttıkça kuru ve yaş sürtme haslıklarının düştüğünü tespit etmişlerdir. Ayrıca aşındırma sayısı arttığında kuru sürtme haslığındaki düşüşün yaş sürtme haslığındaki düşüşten daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Çetin (2017) dört farklı konstrüksiyona sahip havlu kumaşları kullandığı çalışmada kumaş konstrüksiyonunun yaş ve kuru sürtme haslığı üzerine etkisinin olmadığını belirtmektedir. Boyarmadde rengi özellikle yaş sürtme haslığı açısından en önemli parametre olarak tespit edilmiştir. Oğuz (2019) fiksator çeşitleri ve karışımlarının reaktif boyarmaddeler ile üç farklı renkte boyanmış pamuklu örme kumaşlarda haslıklar üzerine etkisini incelemiştir. Özellikle bordo ve siyah renkli kumaşların sürtme haslıklarının, poliüretan bazlı fiksator ve epiklorhidrin/poliüretan karışımında farkedilir şekilde arttığı görülmüştür. Turkuaz renkli kumaşın ard işlem öncesi haslık değeri yüksek olduğundan fiksator etkisi tespit edilmemiştir. Kalkan ve Oğulata (2020) yıkanmış denim kumaşların tekrar eden yıkamalarda boyutsal değişimlerini, sürtünme haslık değerlerini, kopma mukavemet değerlerini ve renk değişim değerlerini incelemişlerdir. İki kumaşta yapılan yıkamalar sonucunda kuru ve yaş sürtünme değerlerinin genellikle birbirine yakın ancak farklı çıktığı gözlenmiş, bu durum kumaşlardaki Bome (<sup>0</sup>Be) değerlerinin farklı olmasına bağlanmıştır. Cengiz (2021) %100 pamuklu dört farklı yapıda kurulanma amaçlı ürünlerin kullanım performanslarının ev tipi yıkamaya bağlı

olarak değişimlerini incelediği çalışmada tekrarlı yıkama sayısının artmasının kumaşların mukavemet, eğilme, tutum gibi performans özellikleri üstünde olumsuz etkilerinin olduğunu belirtmiştir. Sezgin Bozok ve Oğulata (2022) farklı atkı sıklıklarına sahip denim kumaşların aşınma sonucunda değişen optik özelliklerini incelemişlerdir. İlk belirgin toplam renk farkı değerinin 2500 devirde elde edildiği çalışmada numunelerin aşındıkça renk tonlarının maviye yeşile kaydığı ve renklerinin parlaklaştığı belirlenmiştir. şener Gündüz (2023) denim kumaşların yapısında kullanılan farklı atkı ipliği tipi ile dimi yönünün kumaşların kuru ve yaş sürtme haslık değerleri üzerinde etkisinin olmadığını yıkama tipinin haslık üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Yapılan alışmalar ipliklerden ham kumaş halinde yüzey elde edildikten sonra yüzeyin boyanması üzerinedir. Diğer çalışmalardan farklı olarak bu çalışma kapsamında boyanmış ipliklerden kumaş dokunmuştur ve elde edilen ipliği boyalı kumaşların aşınma ve yıkama parametrelerine göre sürtme haslıkları incelenmiştir. Öncelikle ipliği boyalı kumaşın aşınma etkisine dayanımı incelenmiş, aşındırma sayısı ile sürtme haslığı arasındaki ilişkinin görülmesi amaçlanmıştır. Ayrıca yıkama parametreleri ile sürtme haslığı arasındaki ilişkileri tespit edebilmek için ipliği boyalı kumaşın yıkama süresi, yıkama sıcaklığı ve yıkama tekrarı etkilerine dayanımı incelenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu bölümde çalışmada kullanılan materyal ve metotlar açıklanmaktadır.

### 2.1. Materyal

Aynı harmandan Ne 30 numaralı %100 pamuk ipliklerinden oluşturulan bobinlerin mukavemet, numara, düzgünsüzlük, yoğunluk ve büküm ortalamalarının arasındaki farkın belirli bir güven düzeyinde anlamlılığını test etmek için tek yönlü varyans analizi (One-way ANOVA) yapılmıştır. Tablo 1'den görüldüğü gibi bobin faktörünün seviyeleri arasındaki farklar istatistiki olarak önemli bulunmamıştır ( $P > 0,05$ ). Bu sonuçlara göre çalışmada kullanılan ipliklerin özelliklerinin ve bobinlerin sarım yoğunluklarının benzer olduğu söylenebilmektedir.

**Tablo 1.** Varyans analizi sonuçları.

Faktör	Bağımlı Değişken	Ortalama	P
Bobin	Mukavemet (cN/tex)	13,60	0,342
	Numara (Ne)	29,50	0,526
	Düzgünsüzlük (%CV)	10,92	0,765
	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	0,36	0,437
	Büküm (t/m)	661,17	0,502

Bobinler lacivert renkte reaktif boyarmadde ile boyanmıştır. Boyanmış ipliklerden dokuma yapılarak kumaşlar elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan ipliği boyalı kumaşın özellikleri Tablo 2’de verilmektedir.

**Tablo 2.** İpliği boyalı kumaşın özellikleri.

Çözgü İplik Numarası	Atkı İplik Numarası	Çözgü Lif Cinsi	Atkı Lif Cinsi	Örgü Raporu	Çözgü Sıklığı (tel/cm)	Atkı Sıklığı (tel/cm)	Gramaj gr/m <sup>2</sup>
30 Ne	30 Ne	Pamuk	Pamuk	D 3/1 Z	60	32	230

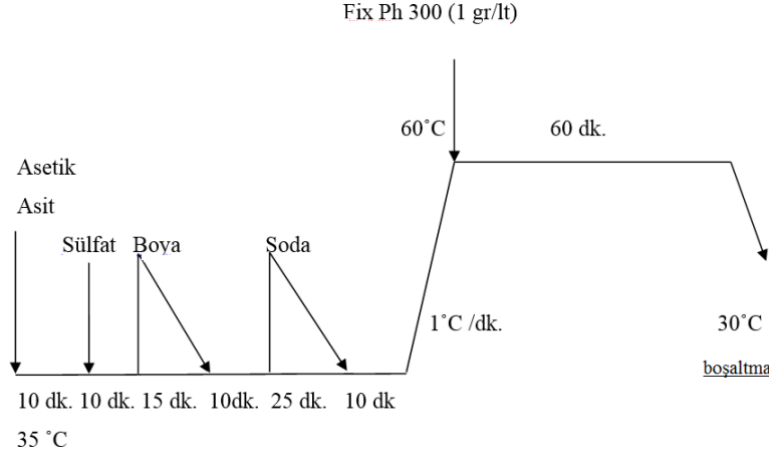
Aşınma, tekstil materyalinin başka bir materyale sürtünmesi sonucunda kumaştaki iplik ve liflerin yüzeyden dışarı çıkması ile kumaş yüzeyinde meydana gelen eskimedir. Bilhassa dokuma kumaşlar için geçerli olan aşınma, tekstillerin dayanıklılığını belirleyen en önemli özelliklerden biridir (Yakartepe, 2005). Ömeroğlu ve Ülkü (2007) kompakt ring ipliklerinden ve konvansiyonel ring ipliklerinden ürettikleri dokuma kumaşlara yaptıkları analizler sonucunda kompakt ipliklerden üretilen kumaşların aşınma mukavemetlerin konvansiyonel ipliklerden üretilen kumaşların aşınma mukavemetlerinden daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Kaynak ve Topalbekiroğlu (2008) dokuma konstrüksiyonunun ve aşındırma sayısının kumaş aşınma mukavemeti üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında daha az sayıdaki iplik kesişmelerinin ve uzun atlamaların aşınma mukavemetini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Doba Kadem ve Oğulata (2014) çalışmalarında farklı kumaş konstrüksiyonlarının boncuklanma ve aşınma ile kütle kaybına etkisini incelemişlerdir. İplik türü ve dokuma konstrüksiyonu aşınma mukavemetini etkileyen parametrelerdendir. Dolayısıyla çalışmada kullanılan tüm kumaş numuneleri aynı özellikteki ipliklerden tek bir konstrüksiyonda üretilmiştir.

## 2.2. Metot

SSM TW2-W Digicone çapraz sarım makinesi ile boyama bobinleri oluşturulmuştur. Bobin yoğunluğu 0,36 gr/cm<sup>3</sup>’tür. Bobinlerin boyama ve yıkama işlemleri Thies markalı HT bobin boyama makinesi ile yapılmıştır. İplikler reaktif boyarmadde ile lacivert renkte boyanmıştır. Açık renklere sürtme haslıkları genel olarak koyu renklere göre daha iyidir. Çalışmada ipliği boyalı kumaşların belirli etkilere karşı sürtme haslıklarının yeterli olup olmadığı araştırıldığından koyu renk boyama yapılmıştır. Tablo 3’te boyama reçetesi, Şekil 1’de boyama grafiği verilmektedir.

**Tablo 3.** Boyama reçetesi.

Renk	Boyarmadde	Boyarmadde %'si	Tuz (g/l)	Soda (g/l)
Lacivert	Levafix yellow CA	0,21	80	20
	Levafix red CA	1,64		
	Levafix blue CA	3		

**Şekil 1.** Boyama grafiği.

Boyamadan sonra yıkama ve apre işlemi yapılmıştır. Yıkama işlemi 5'er dakika içten dışa ve dıştan içe durulama ile başlamıştır. 1gr/lt asetik asit kullanılarak 50°C'de 5'er dakika içten dışa ve dıştan içe nötralizasyon yapılmıştır. 5'er dakika içten dışa ve dıştan içe olmak üzere 70 °C'de 10 dakika yıkama, 98 °C'de 10 dakika sabunlu yıkama, 98 °C'de 10 dakika sıcak yıkama, 50 °C'de 10 dakika yıkama yapılmıştır. İçten dışa 5 dakika durulama sonrası apre işlemine geçilmiştir. 0,5 gr/lt asetik asit, 2 gr/lt fiksator ve %2 yumuşatıcı kullanılarak 45 °C'de 20 dakika işlem yapılmıştır.

Bobinler Thies basınçlı kurutma makinesi ile 110°C sıcaklığında kurutulmuştur. Boyalı ipliklerden kumaşlar gülas marka numune dokuma tezgâhı kullanılarak üretilmiştir. 4 adet numune kumaş ASTM D4966 standardına göre Mardindale aşınma test cihazıyla 1000, 5000, 10000, 15000 tur sayıları kullanılarak aşındırılmıştır. 6 adet numune kumaş ev tipi çamaşır makinesinde 3 farklı sıcaklık ve 2 farklı süre olacak şekilde yıkanmıştır. Yıkama işlemi her bir grup için 20'şer kez tekrarlanmıştır. Yıkamalardan sonra kumaşlar oda sıcaklığında serilerek kurutulmuştur. Yıkama ve kurutma işlemleri TS 5720 EN ISO 6330'a göre yapılmıştır.

Çalışmada birçok tekstil ürününden istenen en önemli haslıklardan biri olan sürtme haslığı incelenmiştir. Bu haslık özellikle giysilik ve döşemelik kumaşlarda önemlidir. Sürtme haslığı kullanım haslıklarından biri olup, kumaşın temas ettiği bir kumaşa sürtme neticesinde rengini transfer etmeye karşı gösterdiği dirençtir. Sürtme direnci lif cinsi, kumaş konstrüksiyonu, terbiye işlemleri, boyama yöntemi (emdirme, çektirme, iplik boyama, kumaş boyama), boyama şartları, boyarmadde cinsi, bitim işlemleri gibi çeşitli parametrelere bağlı olarak değişmektedir (Sarıduman, 2005; Balcı ve Oğulata, 2006; Can ve Akaydın, 2014; Can ve İnanç, 2017). Sürtme haslığı gri skala adı verilen 5

ölçeği üzerinden değerlendirilmektedir. 1 en düşük, 5 en yüksek haslığı göstermektedir. Tablo 4'te gri skala değerlendirme tablosu görülmektedir. Değerlendirmelerde 1/2, 2/3, 3/4, 4/5 ara değerleri de kullanılmaktadır.

**Tablo 4.** Gri skala değerlendirme tablosu.

Haslık Değeri	Anlamı
1	Az
2	Orta
3	Oldukça iyi
4	İyi
5	Çok iyi

Sürtme haslığı, yaş sürtme haslığı ve kuru sürtme haslığı olarak ikiye ayrılmaktadır. Kuru sürtme haslığı, boyalı tekstil mamulünün kuru beyaz beze sürtülmesi sonucunda renginin beze geçmesinin değerlendirilmesiyle belirlenmektedir. Yaş sürtme haslığı, boyalı tekstil mamulünün yaş beyaz beze sürtülmesi sonucunda renginin beze geçmesinin değerlendirilmesiyle tespit edilmektedir. Yaş sürtme için kullanılan beyaz kumaşın ıslatılması saf su ile gerçekleştirilmektedir. Bu testte boyasız, pamuklu kumaştan refakat bezi kullanılmaktadır. Sürtme etkisini sağlayan makineye numune kumaş ile refakat bezi takılmakta ve makine 20 kez hareket ettirilerek numune kumaş ve refakat bezinin birbirine sürtmesi sağlanmaktadır. Refakat bezi üzerindeki boya miktarı gri skala ile incelenmektedir. Elde edilen sonuçlar EKO TEX standartlarına göre değerlendirilmektedir. Kuru sürtme haslığı en az 4, yaş sürtme haslığı en az 2/3 olmalıdır (Sarıduman, 2005).

Aşındırma ve yıkama işlemleri biten kumaşların yaş ve kuru sürtme haslıkları TS EN ISO 105-X12 standardına göre Crockmeter Test Cihazı ile ölçülmüştür. Beyaz kumaş üzerinde meydana gelen renk bulaşması 1'den 5'e kadar derecelendirilen gri skala ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler, kumaşlar 24 saat süreyle normal atmosfer koşullarında (20 °C sıcaklık, %65 bağıl nem) kondisyonlandıktan sonra gerçekleştirilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde çalışma sonucunda elde edilen bulgulara yer verilmektedir.

#### 3.1. Sürtme Haslığının Aşınma Etkisiyle Değişimi

Kumaşların aşınma mekanizmaları düz aşınma, esneme veya bükülme aşınması, kenar aşınması ve sürtünme ile renk aşınması şeklindedir (Sungur, 2020). Çalışmada sürtünme ile renk aşınması

mekanizması üzerinde durulmuştur. Aşınma etkisiyle kumaşın belirli bir kısmında oluşan renk değişimi sürtünme ile renk atması şeklinde tanımlanmaktadır (Tok, 2011).

Farklı sayılarda aşındırılmış numune kumaşların yaş ve kuru sürtme haslıkları Tablo 5'te verilmektedir. Kuru sürtme haslıklarının yaş sürtme haslıklarına göre genel olarak daha yüksek çıktığı görülmektedir. Aşınma işlemi yapılmadan yaş ve kuru sürtme haslıkları sırasıyla 4 ve 5 olarak değerlendirilmiştir. Tur sayısı 1000 olduğunda yaş ve kuru sürtme haslıkları aynı değerde kalmıştır. Tur sayısı 5000 olduğunda yaş ve kuru sürtme haslıkları düşmeye başlamış ve tur sayısı artırılmaya devam ettiğinde sürtme haslıklarının düştüğü görülmüştür. Can ve İnanç (2017) lacivert renkli %100 pamuklu bezayağı kumaşlarla yaptıkları çalışmada aşındırma sayısı arttıkça numunelerin haslık derecelerinin düştüğünü belirtmişlerdir. Uygulanan deney şartlarında yaş ve kuru sürtme haslıklarının 15000 tur sayısına kadar kabul edilebilir değerde olduğu görülmüştür. Dolayısıyla üretilen ipliği boyalı kumaşların sürtme haslıklarının aşınma etkisine karşı yeterli düzeyde olduğu sonucuna varılmıştır.

**Tablo 5.** Farklı sayılarda aşındırılmış kumaşların yaş ve kuru sürtme haslıkları.

Tur sayısı	Yaş sürtme haslığı	Kuru sürtme haslığı
0	4	5
1000	4	5
5000	3/4	4/5
10000	3/4	4/5
15000	3	4

### 3.2. Sürtme Haslığının Yıkama Etkisiyle Değişimi

Kumaşlara uygulanan yıkama işlemlerine ait bilgiler ile kuru ve yaş sürtme haslıkları Tablo 6'da verilmektedir. 30 dakika yıkama yapılan numunelerde yıkama sıcaklığı ve tekrarı arttıkça yaş ve kuru sürtme haslıkları düşmektedir. 60 dakika yıkama yapılan numunelerde de yıkama sıcaklığı ve tekrarı arttıkça sürtme haslıklarının düştüğü görülmüştür. Ayrıca bu gruptaki numunelerin sürtme haslıklarının 30 dakika yıkama yapılan numunelere göre daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

İlk yıkama sonrası tüm yıkama sıcaklığı ve yıkama sürelerinde yaş sürtme haslıklarının yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. Kuru sürtme haslıklarının en yüksek yıkama süresi ve yıkama sıcaklığı dışında yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir. 10. yıkamadan sonra yaş sürtme haslıkları en yüksek yıkama süresi ve yıkama sıcaklığı dışında büyük oranda yeterli düzeydedir. Kuru sürtme haslıklarının 90°C sıcaklıklarda ve 60 °C'de 60 dakika yıkama dışında yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. 20. yıkama sonrası yaş sürtme haslıklarının 90°C sıcaklıklarda ve 60 °C'de 60 dakika yıkama dışında yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Kuru sürtme haslıkları büyük oranda yetersiz

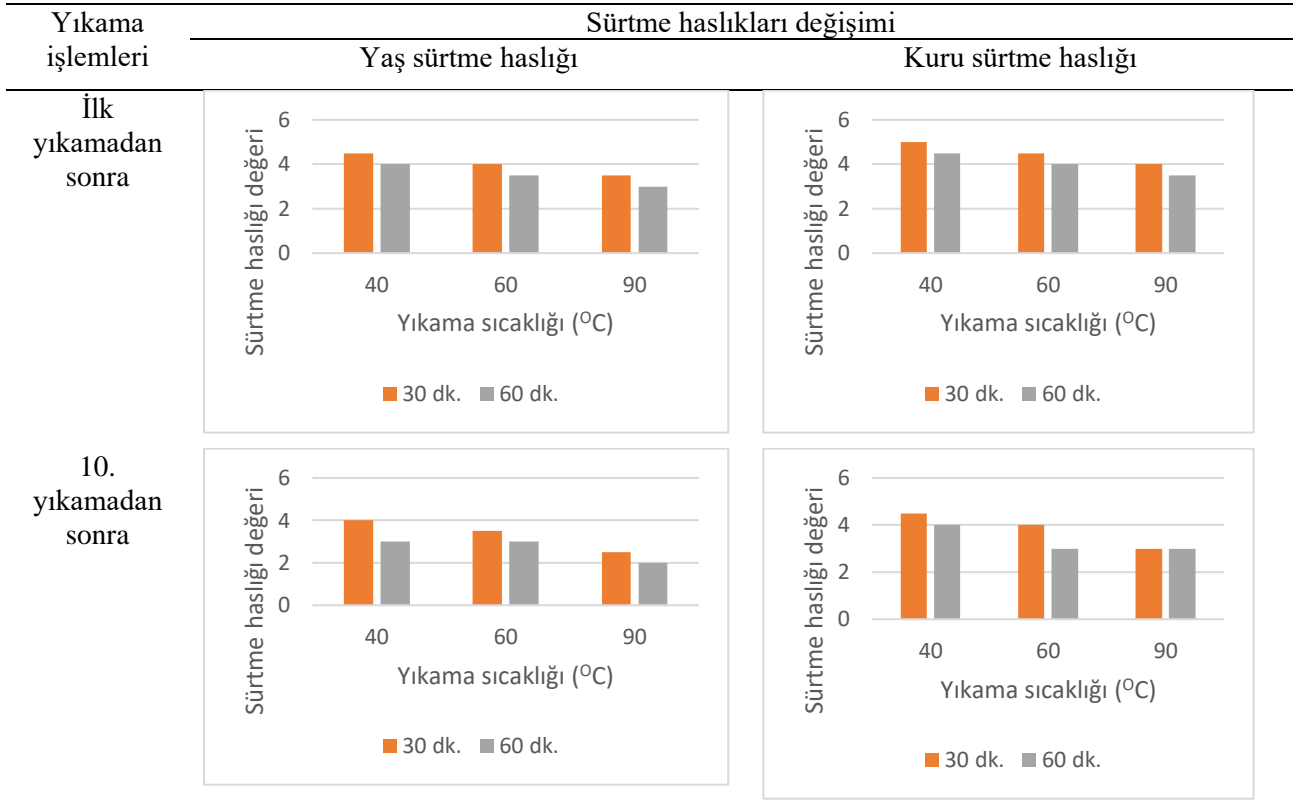
çıkıştır. Özellikle yüksek sıcaklık ve sürede tekrarlı yıkamalara maruz kalacak ipliği koyu renge boyalı tekstil ürünlerinin kuru ve yaş sürtme haslıklarının geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

**Tablo 6.** Yıkama işlemleri ve yıkama işlemleri sonrası sürtme haslıkları.

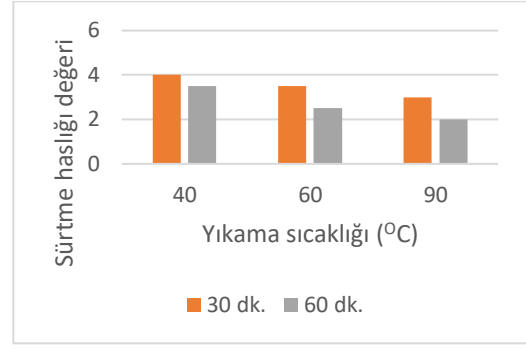
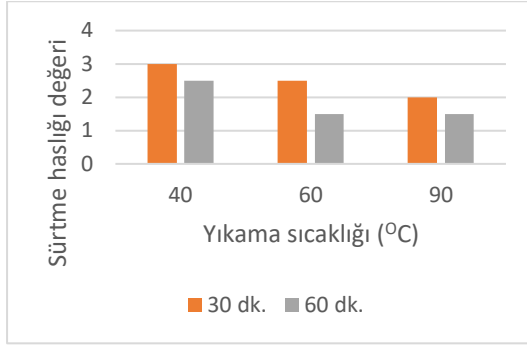
Yıkama numarası	Yıkama süresi (dk)	Yıkama sıcaklığı (°C)	İlk yıkama sonrası sürtme haslığı		10. yıkama sonrası sürtme haslığı		20. yıkama sonrası sürtme haslığı	
			Yaş	Kuru	Yaş	Kuru	Yaş	Kuru
1	30	40	4/5	5	4	4/5	3	4
2	30	60	4	4/5	3/4	4	2/3	3/4
3	30	90	3/4	4	2/3	3	2	3
4	60	40	4	4/5	3	4	2/3	3/4
5	60	60	3/4	4	3	3	1/2	2/3
6	60	90	3	3/4	2	3	1/2	2

Yıkama işlemleri ile sürtme haslıkları arasındaki ilişkiler Tablo 7’de görülmektedir. Grafikleri daha kolay analiz edebilmek için grafik oluşturken sürtme haslığının 1/2 olduğu değer 1,5, 2/3 olduğu değer 2,5, 3/4 olduğu değer 3,5, 4/5 olduğu değer 4,5 olarak alınmıştır. Tablo 7’den görüldüğü üzere, 3 farklı yıkama sıcaklığı için yıkama süresi arttıkça sürtme haslıkları düşmektedir. Kumaşların kuru sürtme haslıkları genel olarak yaş sürtme haslıklarından yüksektir. Tüm deney gruplarında yıkama sıcaklığı arttıkça sürtme haslığının düştüğü görülmektedir.

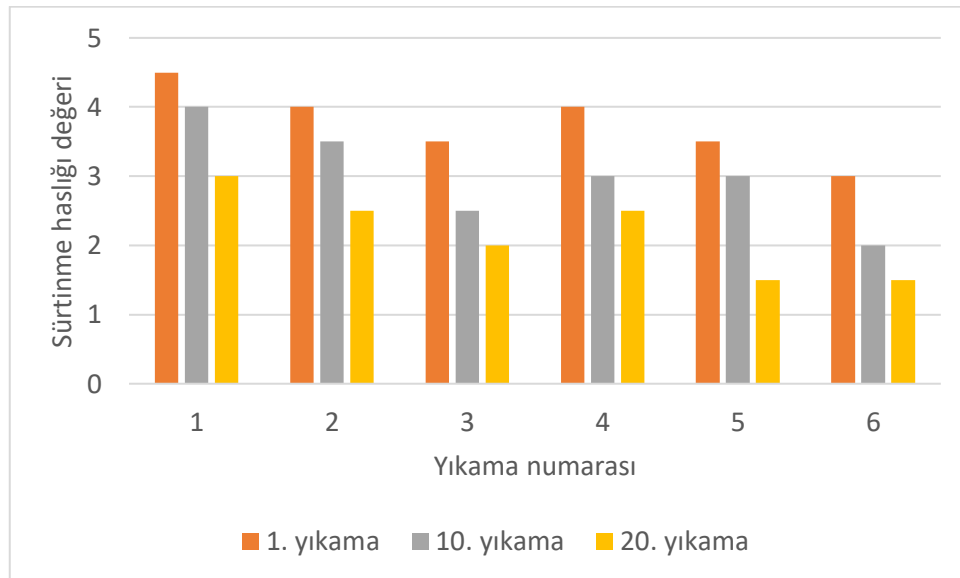
**Tablo 7.** Yıkama işlemleri ile sürtme haslıkları değişimi.



20.  
yıkamadan  
sonra

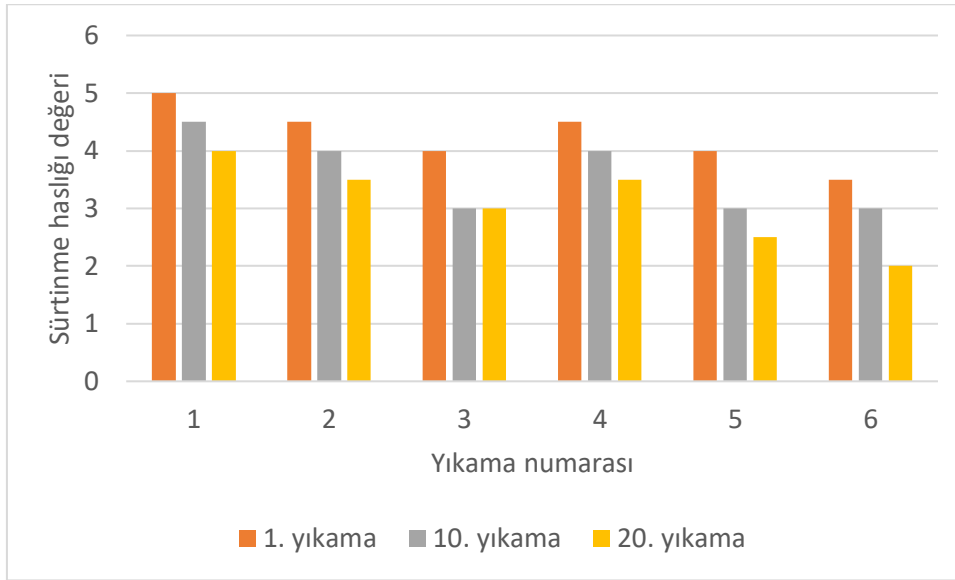


6 adet yıkama için yıkama tekrar sayısı ile sürtme haslığı arasındaki ilişkiler Şekil 2 ve Şekil 3'te görülmektedir. Yıkama tekrarı arttıkça genel olarak yaş ve kuru sürtme haslıklarının düştüğü tespit edilmiştir. Can ve Akaydın (2014) yıkama süresi, sıcaklığı ve yıkama tekrarı arttıkça benzer şekilde kuru ve yaş sürtme haslıklarının düştüğünü belirtmişlerdir. Farklı olarak yıkama sıcaklığı ve süresi arttığında yaş sürtme haslığındaki düşüşün kuru sürtme haslığındaki düşüşten daha fazla olduğunu, yıkama tekrarı arttığında kuru sürtme haslığındaki düşüşün yaş sürtme haslığındaki düşüşe göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Bu çalışmada yıkama sıcaklığı ve süresi artırıldığında yaş ve kuru sürtme haslıklarındaki düşüşün birbirine benzer şekilde olduğu görülmüştür. Ayrıca yıkama tekrarı arttığında yaş sürtme haslığındaki düşüşün kuru sürtme haslığındaki düşüşe göre daha fazla olduğu gözlenmiştir. Yıkama tekrarı artırıldığında elyaf kimyasal bağ yapmamış boyarmadde kısmı daha fazla uzaklaşmaktadır. Bu durumun yaş haslıklarda daha fazla düşüşe neden olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 2. Yıkama tekrarı ile yaş sürtme haslıklarının değişimi.





Şekil 3. Yıkama tekrarı ile kuru sürtme haslıklarının değişimi.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Boyalı tekstil ürünleri ve kumaşlar kullanımları sırasında aşınma etkisiyle karşılaşmaktadır. Aynı şekilde defalarca yıkanmakta, farklı yıkama süresi ve yıkama sıcaklığına maruz kalmaktadır. Çalışmada bobin halinde iplikler lacivert renkte boyanmış ve bu ipliklerden dokuma yüzeyler elde edilmiştir. Bir grup ipliği boyalı kumaş aşınma test cihazıyla farklı tur sayıları kullanılarak aşındırılmıştır. Diğer bir grup ipliği boyalı kumaş ev tipi çamaşır makinesinde 3 farklı sıcaklık ve 2 farklı süre olacak şekilde yıkanmıştır. Aşındırma ve yıkama işlemleri biten kumaşların yaş ve kuru sürtme haslıkları değerlendirilmiştir. Böylece sürtme haslığının değişimi aşınma, yıkama süresi, yıkama sıcaklığı ve yıkama tekrarı parametreleri dikkate alınarak incelenmiştir.

Üretilen ipliği boyalı kumaşların sürtme haslıklarının aşınma etkisine karşı yeterli düzeyde olduğu görülmüştür. Kuru sürtme haslıklarının yaş sürtme haslıklarına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Aşındırma sayısı belli bir değerden sonra arttırmaya devam edildiğinde yaş ve kuru sürtme haslıklarının düştüğü görülmüştür.

Yıkama işleminin etkisi incelendiğinde ilk yıkama sonrası tüm yıkama sıcaklığı ve yıkama sürelerinde yaş sürtme haslıklarının yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. Kuru sürtme haslıklarının en yüksek yıkama süresi ve yıkama sıcaklığı dışında yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiştir. 10. yıkamadan sonra yaş sürtme haslıkları en yüksek yıkama süresi ve yıkama sıcaklığı dışında büyük oranda yeterli düzeydedir. Kuru sürtme haslıklarının 90°C sıcaklıklarda ve 60 °C'de 60 dakika yıkama dışında yeterli düzeyde olduğu görülmektedir. 20. yıkama sonrası yaş sürtme haslıklarının 90°C sıcaklıklarda ve 60 °C'de 60 dakika yıkama dışında yeterli düzeyde olduğu tespit edilmiş, kuru

sürtme haslıklarının büyük oranda yetersiz olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla özellikle yüksek sıcaklık ve sürede tekrarlı yıkamalara maruz kalacak ipliği koyu renge boyalı tekstil ürünlerinin kuru ve yaş sürtme haslıklarının geliştirilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca kumaşların kuru sürtme haslıklarının yaş sürtme haslıklarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Yıkama süresi, yıkama sıcaklığı ve yıkama tekrarı arttıkça yaş ve kuru sürtme haslıklarının düştüğü tespit edilmiştir. Süre, sıcaklık ve yıkama tekrarının artmasıyla life fikse olmamış, sadece life tutunmuş boyarmaddeler daha fazla uzaklaşacaktır. Bu durum sürtme haslıklarının düşmesine neden olacaktır.

İplik boyamada kullanılan boyarmaddeler sonradan göreceği işlemler sebebiyle haslıkları yüksek seçilmektedir. Bu durum kullanım haslıklarının yüksek olmasını sağlamaktadır. Çalışmada ipliği boyalı kumaşların bazı parametrelere bağlı olarak sürtme haslığı değişimi incelenmiştir. Tekstil mamullerinin renklerinin solması istenmeyen bir durumdur. Bu nedenle boyama türünün ve koşullarının optimum bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Ancak uzun süreli kullanım sonucunda aşınmalar, yıkama etkisiyle renkte solmalar oluşabilmektedir. Bu nedenle kullanım alanına göre, aşınmaya ve yıkamaya maruz kalabilecek kumaşlarda daha fazla dikkat edilerek boyama ve boyarmadde türü, boyama koşulları belirlenmelidir. Ayrıca yeterli haslıkların sağlanabilmesi için istenilen renk etkilenmeden haslık geliştirme çalışmaları yapılmalıdır.

Lif cinsi, dokuma konstrüksiyonu, boyarmadde cinsi sürtme haslığını etkileyebilmektedir. Sonraki çalışmalarda farklı liflerden elde edilmiş iplikler boyanarak farklı konstrüksiyonlarda dokunabilir. Elde edilen ipliği boyalı kumaşların kullanım yerine göre sürtme haslığı dahil olmak üzere çeşitli haslık özellikleri değerlendirilerek sonuçlar genişletilebilir. Bu sonuçlar ışığında haslık geliştirme çalışmaları yapılabilir.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- ASTM D4966, Standard Test Method for Abrasion Resistance of Textile Fabrics (Martindale Abrasion Tester Method).
- Balcı O., ve Oğulata R. T., (2006). Boyama Sonrası Poliester/Viskon/Elastan Karışımli Dokuma Kumaşlarda Haslık İyileştirme Çalışmaları, *Tekstil ve Mühendis*, 13(61), 21-32.
- Belten, M. Ş., ve Çetiner, S., (2016). Poliester-Viskon-Elastan Kumaşlarda Boyarmadde Molekül Büyüklüğünün Performans Özelliklerine Etkisi. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(2), 27- 34.
- Can, Y., ve Akaydın, M., (2014). Yıkama İşleminin Bezayağı Kumaşların Sürtme Haslığına Etkileri, *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(1), 60-65.
- Can, Y., ve İnanç, L., (2017). Pamuklu Bezayağı Kumaşlarda Aşınma Etkisi ile Sürtme Haslığı Değişimi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5, 50-55.

- Cengiz, A. A., (2021). *Yıkama İşleminin Havlu Ve Peştamalların Performans Ve Tutum (Kawabata-Kes-F) Özelliklerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Çetin, L., (2017). *Denizli'de Üretilen Dokuma Havlu ve Bornozluk Kumaşların Haslık Ve Su Emicilik Özelliklerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Çoban, S., (2004). *Terbiye ve Haslıklar Açısından Konfeksiyon Malzeme Muayeneleri*. İzmir: Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Yayını.
- Demir L., ve Mutlu Ö., (2006), Tekstil Terbiyesinde Uygulanan Art İşlemlerin Kuru Sürtme Haslığı Üzerindeki Etkisinin İstatistiksel Deney Tasarım Yöntemi ile Belirlenmesi. *Tekstil ve Mühendis*, 12(57), 39-49.
- Doba Kadem, F., ve Oğulata, R. T., (2014). İpliği Boyalı Pamuklu Kumaşlarda Kumaş Konstrüksiyonunun Boncuklanma ve Aşınmaya Etkisinin Araştırılması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(1), 89-97.
- Duran, K., (2001). *Tekstilde renk ölçümü ve reçete çıkarma*. İzmir: Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Yayını, Yayın No:17.
- İçoğlu H. İ., (2006). *Pamuklu Dokunmuş Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanması ve Uygulama Yöntemlerinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kalkan, S., ve Oğulata, T., (2020). *Evsel Yıkamanın Denim Kumaşlar Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*. *Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 39 (2), 11-22.
- Kaynak, H. K., ve Topalbekiroğlu, M., (2008). Influence of Fabric Pattern on the Abrasion Resistance Property of Woven Fabrics. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 16(1), 54-56.
- Mughal, M. J., Saeed, R., Naeem, M., Ahmed, M. A., Yasmien, A., Siddiqui, Q., ve Iqbal, M., (2013). Dye fixation and decolourization of vinyl sulphone reactive dyes by using dicyanidamide fixer in the presence of ferric chloride. *Journal of Saudi Chemical Society*, 17, 23-28.
- Oğuz, S. D., (2019). *Reaktif Boyalı Pamuklu Kumaşlarda Kullanılan Fiksator Tipleri ve Kompozisyonlarının Renk Haslığı Üzerine Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Omeroglu, S., ve Ulku, S., (2007). An Investigation about Tensile Strength, Pilling and Abrasion Properties of Woven Fabrics Made from Conventional and Compact Ring-Spun Yarns. *FIBRES & TEXTILES in Eastern Europe*, 15(1), 39-42.
- Oral, G., (2011). *Askeri Eğitim Elbisesi Kumaşlarının Yapısal, Mekanik ve Bazı Haslık Özelliklerinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Özdemir, A. O., ve Tutak, M. (2016). Pamuklu Kumaş Üzerinde CI Reaktif Kırmızı 194 Boyasının Relatif Fiksaj, Haslık ve K/S Renk Verimi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 19-28.
- Özgürel, S., (2008). *Boyanmış dokuma havlu kumaşların hidrofilitate, yıkama ve sürtme haslıkları üzerine etki eden faktörlerin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Sarıduman, S., (2005). *Endüstriyel olarak üretilmekte olan çeşitli atkı fitilli kadife kumaş özellikleri üzerine bir inceleme*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Sezgin Bozok, S., Oğulata, R.T., (2022). *Farklı Atkı Sıklıklarına Sahip Denim Kumaşların Aşınma Sonucunda Değişen Optik Özelliklerinin İncelenmesi*. *Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 37(1), 187-195.
- Sungur, E. G., (2020) *Dokuma Kumaşların Yapısal ve Mekanik Özellikleri ile Dökümlülüğü Arasındaki İlişkinin İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Şener Gündüz, Y., (2023). *Denim Kumaşlarda Üretim Parametrelerinin Tutum ve Performans Özellikleri Üzerine Olan Etkisinin Araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- Tamtürk, H. F., (2007). *Pamuklu Dokuma Kumaşlara Uygulanan Seçilmiş Ön Terbiye İşlemlerinin Kumaş Performansına Etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Tok, O., (2011). *Farklı Pet İpliklerle Oluşturulan Otomotiv Döşemelik Kumaşların Mukavemet Aşınma Dayanımı ve Işık Haslığı Açısından İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- TS 5720 EN ISO 6330, Tekstil- Tekstil deneyleri için- Ev tipi çamaşır makinesi ile yıkama ve kurutma işlemleri.
- TS EN ISO 105-X12, Tekstil- Renk haslığı deneyleri- Bölüm x12: sürtmeye karşı renk haslığı tayini.
- Yakartepe, M., (2005). *Konfeksiyon Teknolojisi*. Ankara: Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Merkezi Yayınları.

- Yıldız, A., Öztaş, M., Yavuzer, S., ve Ağırhan A. Ö., (2012). Yumuşatıcı ve silikon varlığında pamuklu kumaşların haslık değerlerinin incelemesi. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(22), 55-69.
- Yurdakul, A., Öktem, T., Kumbasar, P., Atav, R., Korkmaz, A., ve Arabacı, A., (2003). Boyama İşleminde Sonra Kullanılan Tekstil Kimyasallarının ve Diğer Terbiye İşlemlerinin Haslık Özellikleri Üzerine Etkileri, TÜBİTAK Tekstil Araştırma Merkezi, Proje No: TAM 2002-02, İzmir.

## Comparative Analysis of Hazard Identification and Risk Assessment Methods in Ağrı Cement Factory: Fine-Kinney vs. 3T Approach

Azize İNANLI<sup>1</sup>, Okan ÖZBAKIR<sup>2\*</sup>

### Abstract

Occupational health and safety is essential to protect, maintain and improve the physical, psychological and social well-being of employees and to prevent harmful factors. One way to prevent occupational hazards is to identify them in the workplace. Therefore, providing information to assist in making the necessary decisions to reduce occupational hazards, and conducting hazard identification and risk assessment will contribute significantly. In this study, the risks identified at Ağrı Cement Factory were classified using the Fine-Kinney method and the 3T risk assessment method, and the results were compared. The 3T method is superior to the Fine-Kinney method because of its modular structure. The high risks that require immediate action in the Fine-Kinney method appear to be prioritized similarly in the 3T method as well. However, in the Fine-Kinney method, significant, possible, and risks are considered among the top 3 priority risks, while in the 3T method, they are considered among the top 2 priority risks. It has been observed that a risk assessment utilizing the Fine-Kinney method will be successful if continuously updated. Difficulty in selecting the probability component has led to elevating risk values in the Fine-Kinney risk assessments by selecting a higher level of risk. Although both methods exhibit different approaches, the 3T methodology has been understood to provide a comprehensive perspective by considering risk in terms of threat, performance, and harm. This approach has addressed different dimensions to understand the origins, impacts, and consequences of risks. On the other hand, the Fine-Kinney Risk Assessment Method, relying on weighting and scoring factors specific to project characteristics and factors, has been reported to evaluate risk in a more analytical manner. It has been concluded that this methodology will be successful in calculating risk scores by considering specific project characteristics and risk profiles.

**Keywords:** Fine-Kinney, 3T, Risk Assessments, occupational health and safety.

## Ağrı Çimento Fabrikası'nda Tehlike Tanımlama ve Fine-Kinney ile 3T Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Karşılaştırılması: Bir Kritik İnceleme

### Öz

İş sağlığı ve güvenliği, çalışanların fiziksel, psikolojik ve sosyal iyilik hallerinin korunması, sürdürülmesi, geliştirilmesi ve zararlı faktörlerin önlenmesi açısından şarttır. Mesleki tehlikeleri önlemenin bir yolu onları işyerinde tanımlamaktır. Bu nedenle mesleki tehlikelerin azaltılması için gerekli kararların alınmasına yardımcı olacak bilgilerin sağlanması, tehlike tanımlama ve risk değerlendirmesinin yapılması önemli katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada Ağrı Çimento Fabrikasında tespit edilen riskler Fine-Kinney yöntemi ve 3T risk değerlendirme yöntemi kullanılarak sınıflandırılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. 3T yöntemi modüler yapısından dolayı Fine-Kinney yöntemine göre daha üstün olduğu görülmüştür. Fine kinney metodunda hemen önlem alınması gereken yüksek riskler 3T yönteminde de öncelikli olarak görünmektedir. Ancak Fine-Kinney yönteminde önemli, olası ve riskler ilk 3. öncelikli risk arasında değerlendirilirken, 3T yönteminde ise ilk 2. öncelikli risk arasında değerlendirilmektedir. Fine-Kinney yöntemini kullanan risk değerlendirmesi, sürekli güncellendiği takdirde başarılı olacağı görülmüştür. Olasılık bileşeninin seçiminde zorluk yaşandığında bir üst düzeyde bir risk değeri seçilmesi fine kinney risk değerlerini yükseltmiştir. Her iki yöntem de farklı yaklaşımlar gösterebilir 3T metodolojisi, riski tehdit, performans ve zarar açısından ele alarak kapsamlı bir bakış açısı sağladığı anlaşılmıştır. Bu yaklaşım, risklerin kökenini, etkilerini ve sonuçlarını anlamak için farklı boyutlarını ele almıştır. Fine-Kinney Risk Değerlendirme Yöntemi ise proje özelliklerine ve faktörlere özel ağırlıklandırma ve puanlama faktörlerini temel alarak riski daha analitik bir şekilde değerlendirdiği rapor edilmiştir. Bu metodoloji, projelerin belirli özelliklerini ve risk profillerini dikkate alarak risk puanlarını hesaplamada başarılı olacağı kanaatine varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Fine-Kinney, 3T, Risk Değerlendirme, İş sağlığı ve güvenliği.

<sup>1</sup>İğdır University, Department. Of Occupational Health and Safety İğdır, Türkiye, [azizeinanli@hotmail.com](mailto:azizeinanli@hotmail.com)

<sup>2</sup>İğdır University, Vocational School of Technical Sciences, İğdır, Türkiye, [okan.ozbakir@igdir.edu.tr](mailto:okan.ozbakir@igdir.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

## 1. Introduction

The cement industry is closely linked to natural resources, making geological surveys more important than in other fields of science and technology. This is because even the most modern cement plant established without suitable raw materials or without finding raw materials with the desired properties would be an investment in vain. The cement industry aims to create a chemical mixture from carefully proportioned raw materials and produce it through processes that alter it to some degree. The fundamental factors that determine the quality of cement are the raw materials (Engin and Kumbaracıbaşı, 2013). Changes in raw material properties result in variations in cement quality. In addition, the maintenance of consistent product quality throughout the production process is dependent on changes in the quality of raw materials during this period.

Cement is considered an important raw material, especially in developing countries, due to its technological and economic characteristics, and is therefore of particular importance to governments. The cement industry is primarily a capital-intensive sector; however, the various secondary uses of cement have greatly contributed to the emergence of new business opportunities in countries like Turkey. As a result, during Turkey's development plan periods, governments have provided significant support for the growth of this sector (Tüzemen and Yıldız, 2018).

The cement industry in our country has a highly developed structure compared to other modern industrial sectors. It surpasses many countries in terms of both applied technology and experienced technical knowledge, reaching the level of developed countries. The adoption and implementation of a planned development approach in our country requires the highest level of planning in the cement industry. Since 1900, the cement raw material resources of our country have been the subject of numerous direct or geological studies. Following the establishment of the first cement plant in Turkey in 1911, efforts to establish cement plants in different regions rapidly continued. Particularly after World War II, investment and development goals that affected the world made growth in the cement sector in Turkey an inevitable outcome of investments (Polat, 2007).

Since 2001, the Turkish cement industry has achieved great success by ranking first in cement and clinker exports to Europe. In 2003 and 2004, it maintained its position as the leading cement exporter in Europe and the second largest in the world. Currently, the cement industry is able to meet the country's needs and ensure a reliable supply of raw materials for production. With a small share of imports, the sector is continuously increasing its share of exports, selling products to about 90 countries (Çağatay, 2021). Therefore, the Turkish cement industry is of great importance in terms of employment and its contribution to the national economy. However, the cement sector is structurally classified as heavy and hazardous work, which presents challenges in ensuring a safe working environment. The low proportion of skilled and trained workers in Turkey is also one of the main

factors influencing this situation. In this context, efforts must be made to ensure safe working conditions in the sector (Umutlu and Karcioğlu, 2021).

The cement manufacturing process creates significant dust issues due to the product produced and the raw materials used. These issues require environmental and occupational health and safety measures and arise at various stages of the production process (Özkan, 2021). Equipment such as fans, generators, motors, and grinding mills are significant sources of noise in cement plants. In addition, heavy haul trucks and drilling and blasting operations generate noise at cement plants located near raw material sources in quarries (Yıldız, 2019).

For these reasons, dust and noise issues in cement production are of significant environmental and occupational health and safety importance and require the necessary precautions to be taken. The cement sector should strive to provide an environmentally friendly and safe working environment by implementing appropriate measures to address these challenges. Explosions and fires are among the most serious risks in cement plants, especially in coal-fired operations. Hazards such as fires, dust explosions, or gas explosions can occur during processes such as coal storage, grinding, and combustion in mills (Yıldız, 2022). In addition, there are common risks in cement production during plant overhauls, maintenance and repairs. The production of clinker and exposure to hot cement dust can result in occupational injuries and significant health hazards. Rotating parts of frequently used machinery, especially when used without protection, can cause accidents and loss of limbs. Such accidents may occur, especially during maintenance and repair work. Cement plants must take precautions against these risks and strictly enforce occupational safety measures (Delibalta and Türkmen, 2022).

In the period from 2007 to 2021, work accidents in Turkey were most frequently observed in sectors such as mining, construction, manufacturing of fabricated metal products, primary metal industry, and non-metallic mineral products. According to the data from the Social Security Institution (SGK), work accidents in the cement industry also increased during this period, reaching a significant point with 18,957 incidents in 2021 (Yıldız, 2019). This highlights the need to review occupational health and safety measures, particularly in the cement sector. The fact that the cement industry is one of the high-risk sectors for occupational accidents, along with other industries, underscores the need for the cement industry to focus more on worker safety and health. Taking effective measures to prevent workplace accidents and ensure safe working conditions is a critical step in protecting the well-being and safety of employees (Çavuş, 2016).

The purpose of this study is to identify the risks faced by workers in a cement plant, analyze the risks using the Fine-Kinney Method (FKM) and 3t methods, and compare the two methods. The reasons why they have advantages over each other and why both are used in many industrial organizations are to be questioned with the data obtained. To this end, it shall contribute to

improvement activities related to occupational health and safety. Given the importance of the cement sector and the level of risk in the industry, it is clear that the likelihood of workplace accidents is high. Therefore, employees must act by occupational health and safety guidelines. Risk assessment studies conducted in the context of occupational health and safety not only make workplaces safer, but also contribute to achieving quality, reliability and international reputation. Such efforts are an important step in identifying workplace hazards and taking appropriate precautions to protect the health and safety of workers. As a result, the cement industry can achieve a respected position at the international level and earn the trust of its employees and customers.

## **2. Materials and Methods**

During the research process, different departments and work processes of Ağrı Cement Factory were identified and field work was conducted. Observation, interview, and documentation methods were used to collect data. First, each work process was described in detail and potential risks were identified. Factors such as the severity, likelihood and frequency of recurrence of these risks were then evaluated. In the final stage, appropriate measures were proposed to reduce or eliminate the risks. The data obtained through these methods helped to understand the existing risks in the cement plant and to develop effective preventive measures and regulations. The results of the research can be used to identify significant areas of occupational health and safety risk and to plan measures to protect the health and safety of employees.

The research included both qualitative (observation, interviews) and quantitative (risk scores, data analysis) data collection and analysis techniques. The combination of these methods provided a comprehensive risk analysis and assessment. The FKM and the 3T method were used to rank the risks, and the data obtained from these two methods were compared.

### **2.1. 3T Risk assessment method**

The 3T risk assessment method is a process used to identify potential workplace hazards, analyze exposure levels, rank risks and determine risk control measures. This methodology is widely used in the field of occupational health and safety to help employers identify and manage risks in the workplace. The 3T method consists of three main steps: Hazard (T), Exposure (E), and Tolerance (T). The first step is to identify potential hazards and assess the severity and likelihood of each hazard. The second step is to analyze the extent to which workers are exposed to these hazards and determine exposure levels. In the final step, the hazard and exposure information obtained is used to rank the risks and determine appropriate measures to control the risks (Topuksak, 2018).



The 3T Risk Assessment methodology helps improve occupational health and safety standards and facilitates the implementation of effective measures to ensure employee safety. This method provides a better understanding of the hazards and risks in the workplace and allows for more informed planning of preventive measures. This in turn enables the implementation of effective and appropriate measures to protect the health and safety of employees. The 3T risk assessment method is a 3x3 matrix-based approach supported by specific guidelines to help conduct effective occupational health and safety analyses. It consists of two main modules: basic and specific. Through the specific modules, it can be customized and used for different companies (Ayan et al., 2013).

The assessment process involves both top-level and lower-level employees. If the "appropriate" option is selected during the assessment, it is assumed that there is no specific risk for that company. However, if the "inappropriate" option is selected, it indicates that there is a risk for this company and it needs to be calculated. Calculations are made quickly and then the necessary actions are taken. The 3T module offers great benefits to companies by providing convenience and speed to support the process (Köşek, 2016).

**Table 1.** 3T Risk Assessment 3x3 matrix

Decision Matrix	Severity			
Control Scale		1	0	-1
Control Sufficient	1	0	1	2
Needs Improvement	0	2	3	4
Significant Improvement Required	-1	3	4	5

This method is an important tool in occupational health and safety, helping to better understand potential risks in the workplace and to implement effective measures. The 3T risk assessment method provides employers with an appropriate and customizable approach to protecting the health and safety of employees, and helps improve the safety culture in the workplace (Şenyurt, 2019).

## 2.2. Fine-Kinney method (FKM)

The FKM is an effective tool for assessing workplace health and safety risks and business project risks. In particular, it is used to inform decision makers by analyzing the costs and risks of projects. This method considers various critical factors to identify potential risks of a project and evaluate their impacts. These factors include project size, complexity, technological innovation, market stability, organizational capabilities, and execution risk. The FKM plays a significant role in understanding the likelihood of future project success for projects and optimizing the strategic management of business processes. It helps decision-makers make more informed and sound decisions by analyzing risks and evaluating projects. This method is considered to be a valuable tool

to overcome uncertainties in the business world, aiming to help deal with uncertainties (Birgören, 2017).

This method allows a risk score to be calculated using predefined weighting and rating factors. The resulting risk score (Risk value = Likelihood x Frequency x Severity) helps to determine the level of risk in the project and to prioritize it (Table 2). It provides decision makers with important guidance in understanding the risk status of projects (Table 3). The FKM is an extremely useful tool for better understanding the risks of business projects and effectively managing resources (Şimşek, 2020). It helps decision-makers determine the risk level and priorities of projects and helps develop strategies for effectively managing risk. This method provides valuable contributions to putting business projects on a stronger foundation and increasing their chances of success.

**Table 2.** FKM likelihood, frequency and severity evaluation tables

LIKELIHOOD	Likelihood	Likelihood (%)	Likelihood (Qualitative)
	0,2	2/100	Practically Impossible
	0,5	5/100	Weak Likelihood
	1	10/100	Quite Low Likelihood
	3	30/100	Rare but Possible
	6	60/100	Strongly Likely
	10	100/100	Very Strong Possibility
FREQUENCY	Frequency	Quantitative Frequency	Qualitative Rating
	0,5	Very Rare	Once a year or less
	1	Fairly Rare	Once or several times a year
	2	Rare	Once or several times a month
	3	Now and again	Once or several times a week
	6	Often	One or more per day
	10	Continually	Continuously, more than once per hour
SEVERITY	Severity	Severity	RATING
	1	Should Be Considered	Harmless or insignificant
	3	Important	Low job loss, minor damage, first aid
	7	Serious	Significant Damage, External treatment, lost workday
	15	So serious	Disability, loss of limb, environmental impact
	40	Bad	Death, Complete disability, Severe environmental impact
	100	Catastrophe	Multiple deaths, major environmental disaster

Quantitative assessment and qualitative assessment are two different approaches to risk analysis, each providing a different focus and method for determining the frequency of risk. Quantitative assessment focuses on determining the frequency of occurrence of the risk in numerical terms. This method uses numerical values to assess the likelihood of a risk occurring, its probability of recurrence, and its frequency within a specified time frame. For example, the likelihood of a risk occurring once a year or three times a month can be expressed as a specific quantitative value. On the

other hand, qualitative assessment evaluates the frequency of risk in a broader scope. This approach defines the frequency of risk using terms such as infrequent, occasional, frequent, or continuous (Cündübeyoğlu and Kayabaşı, 2022). Qualitative assessment is generally representing a more general and qualitative approach. Depending on the frequency and significance of the risk, both quantitative and qualitative assessments can be used in different situations. In some cases, a comprehensive risk assessment can be performed by combining both quantitative and qualitative approaches. It is important to conduct these assessments according to the specific needs and circumstances of the project or organization, and to follow a consistent assessment process. In this way, risks can be better understood and appropriate measures can be taken to minimize their impact.

**Table 3.** FKM risk value decision table

Risk Value	Decision	Action
Less than 20	Acceptable Risk	No immediate action may be required
20-70	Possible Risk	It should be included in the action plan
70-200	Significant Risk	It should be carefully monitored and resolved by taking it into the annual action plan.
200-400	High risk	It should be resolved by taking it into a short-term action plan.
400+	Very High Risk	Immediate action should be taken by suspending work

The FKM and the 3T methods are two main strategies commonly used in identifying and managing industrial risks. Both methods have unique advantages and limitations, which influence their preference in different contexts. The 3T method stands out as a simpler and easier-to-use approach compared to the FKM. Particularly, its ease in estimating the likelihood of potential hazards becoming risks provides a significant advantage in practice (Vahapassi et al., 2012). In this method, the adequacy of existing controls for each hazard is assessed in accordance with laws, standards, and best practices. For example, control measures taken in accordance with occupational health and safety procedures and standards regarding fire risk reduce the probability of risk occurrence (Gunduz and Laitinen, 2018).

The FKM, on the other hand, focuses on the probability of unwanted events occurring and the magnitude of the consequences if they occur. In this method, estimating probabilities and determining frequencies often require a difficult and time-consuming process (Dogan, et al., 2022). This can adversely affect risk assessment and make it challenging to determine acceptable risk levels (Birgören, 2017). In contrast, in the 3T method, the adequacy of control measures and the assessment of requirement conditions are conducted through a simple and non-specialized approach (Yaşar et al., 2013). This method offers a faster and more practical approach since it does not require expertise (Laitinen et al., 2012). However, it does not provide a thorough analysis like the FKM.

The FKM is an approach that requires expertise and is typically carried out by experienced individuals. In cases where probabilities cannot be determined, a higher probability level is generally accepted, which can affect risk assessment (Kuleshov et al., 2021). Consequently, both methods have their advantages and limitations. Selecting the appropriate method in the workplace is a crucial factor in effectively managing risks.

### **3. Results and discussion**

In this study conducted with occupational safety and health (OSH) experts at Ağrı Cement Factory, all processes from raw material procurement to final product have been comprehensively examined. Each section of the factory poses different risks. For this purpose, risks in general working areas of the factory as well as in Warehouses, cement silos, cement dosing and cement delivery line, Switchyard and stockyard, Cement mills, Main and auxiliary crusher unit, Raw mill, dosing and silos, Construction equipment and machinery maintenance, Raw material and Raw Material quarries, and Packaging departments have been analyzed. The determination of risks relied on workplace accident reports, expert opinions, and literature review.

The 3T method and the FKM are two approaches to performing risk assessment using different approaches. Some points of comparison between these two methods can be listed as follows: The 3T method focuses on three fundamental dimensions in risk assessment: threat, treatment, and damage. This approach emphasizes the dimensions of hazard (threat) and risk acceptance (treatment), while also assessing the outcome dimension (damage) of risk. The threat dimension focuses on identifying potential hazards and determining the source of risk. The treatment dimension addresses the measures and precautions to be taken to manage and control the risk to an acceptable level. These actions include the steps necessary to reduce or eliminate the risk. Finally, the damage dimension analyzes the magnitude of potential harm by assessing the outcome and impact of the risk.

The FKM is an analytical tool that performs risk assessment based on the characteristics, factors, and risks of the project using a weighting and scoring method. This method is used to calculate risk scores by considering various project attributes such as cost, complexity, technological innovation, and other critical factors. The FKM offers an effective approach to better understanding the risks of projects and managing resources effectively. By identifying potential project risks and determining the risk level of projects through risk scores, it helps develop strategies for project prioritization and effective risk management (Koçak, 2022).

### 3.1. Factory wide and general working environment

Conducting risk assessments throughout the plant and in the general working environment is critical to ensuring the safety of employees and the protection of the environment. Two different risk assessment methods, FKM and 3T, can be used with their different approaches to identifying and managing risk.

The failure to implement the TLVT (Tag, Lock, Verify, and Test) procedure for equipment interventions and the lack of general occupational health and safety measures at the Ağrı Cement Factory were rated as high risk according to the FKM (Table 4). The TLVT is a safety procedure used in industrial and construction settings to ensure proper shutdown of hazardous machinery and prevent their reactivation until maintenance or repair work is completed. The TLVT aims to protect workers from accidents that may occur due to unexpected activation of equipment or release of stored energy, while also facilitating maintenance or service operations (Ateş, 2022). When assessed using the 3T methodology, it is considered a top priority hazard, indicating that it is a high priority risk of significant importance and urgency. Spontaneous working at heights and the presence of compressed air tanks have been identified as important risks according to FKM, but when assessed using the 3T method, they fall into the category of second priority hazards. This indicates that the importance and urgency of the risk are at a moderate level. Conveyor belt cleaning and the presence of electrical cables in the work area are considered potential risks with a low probability of occurrence and limited potential consequences in FKM, while the 3T method classifies this situation as a third priority hazard. Emergency situations and noisy work environments are rated as very high risks in FKM, indicating a high probability of risk occurrence and serious potential consequences. However, the 3T method classifies this situation as a top priority hazard, indicating high importance and urgency of the risk. These different assessments show that the methodologies approach risk in different dimensions and priorities.

To ensure a safe working environment throughout the factory, strict adherence to work permit procedures and compliance with TLVT requirements is crucial. Safety measures such as certified temporary horizontal lifelines in accordance with EN 795 standards should be carefully provided for when working at height, and care should be taken when cleaning roofs. In addition to implementing the necessary procedures for employee training and qualification, regular drills and continuous monitoring should be conducted in these areas (Kara et al., 2023).

Field inspections for occupational safety should be conducted periodically, and the results obtained should be reported. The cleanliness, order, and tidiness of the work area should be carefully maintained. Personal Protective Equipment (PPE) should be selected according to specifications and its use should be strictly controlled (Karahana, 2016). Regular training should be provided and warning

and information signs should be posted in appropriate locations in the workplace. These measures should be taken to ensure that employees work conscientiously and safely.

**Table 4.** Factory and General Working Environment Risk Assessment Comparison

No	General Working Environment	Fine Kinney	3T
1	Interfering equipment is stopped and TLVT is not applied.	HIGH RISK	I. Primary Hazards
2	Spontaneous Studies at Height	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
3	Failure to take general OHS measures	HIGH RISK	I. Primary Hazards
4	Emergencies	VERY HIGH RISK	I. Primary Hazards
5	Compressed air tank	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
6	Noisy Work Environments	VERY HIGH RISK	I. Primary Hazards
7	Conveyor Rubber Band Cleaning	POSSIBLE RISK	III. Primary Hazards
8	Presence of power lines in the work area	POSSIBLE RISK	III. Primary Hazards

### 3.2. Warehouses, cement silos, cement dosing and cement delivery line

There is a high probability of hazards such as electric shock from contact with other electrical equipment and cables in the silo and conveyor line, and failure to implement the TLVT procedure when entering the mill and separator. These hazards have been classified by the FKM as high risk with potentially significant consequences. In the 3T Risk Assessment, these hazards fall into the first priority category, indicating that they are high-priority risks of significant importance and urgency (Table 5).

Working at heights during silo and bunker cleaning, slipping, tripping and other hazards due to uneven working surfaces during ball loading, and working at heights during elevator control have been identified as important risks in FKM. In the 3T, however, they fall into the category of second priority hazards. This indicates that the significance and urgency of the risk are moderate.

Hand tools used should be inspected regularly to eliminate potential hazards, and particular attention should be paid to the use of lanyards when working at height. Appropriate personnel should be assigned and working hours should be regulated within legal requirements. The work area should be kept clean and tidy at all times (Şardan, 2005).

**Table 5.** Comparison of 3T and Fine Kinney Risk Assessments of Warehouses, Cement Silos and Cement Mills, Cement Dosing and Cement Conveying Line

No	Warehouses, Cement Silos and Cement Dosing and Cement Delivery Line	Fine Kinney	3T
1	Electric shock from contact with other electrical equipment and cables	HIGH RISK	I. Primary Hazards
2	Failure to apply TLVT while entering the mill	HIGH RISK	I. Primary Hazards
3	Failure to apply TLVT while entering the separator	HIGH RISK	I. Primary Hazards
4	Working at height during silo and bunker cleaning	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
5	Dangers such as slipping, tripping etc. due to the unevenness of the working area during ball charging.	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
6	Working at height during elevator control	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards

### 3.3. Switchyard and stockyard

Working in electrical control rooms and general electrical and electronics maintenance on the factory floor poses potential hazards, such as the operator being caught in rotating machinery or being injured by sharp objects or being trapped between them. In the FKM, these hazards are assessed as possible risks with a low probability of occurrence and limited potential consequences. In the 3T, however, these situations are classified as category III priority hazards (Table 6). This means that they are hazards with a low probability of occurrence and limited potential consequences. On the other hand, conditions such as undefined storage areas (lack of warning signs and labels), inadequate dust suppression in storage areas and roads, and hazards during loading and unloading of coal stock are considered high risk levels in the FKM, but are classified as category I hazards in the 3T method. This indicates that they are hazards of high importance and urgency. Hazards associated with the absence of stock area markings and lack of suitable ground are considered significant risks with medium probability of occurrence within the FKM, while they are categorized as hazards of category II priority in the 3T. In other words, they are hazards with moderate probability of occurrence and moderate potential consequences.

Proper installation of doner equipment enclosures and assignment of appropriate personnel helps reduce risks in the work environment. In particular, dust control methods such as a continuous watering system should be used to prevent dusting in charcoal storage areas. It is important to properly inspect the PPE to be used in these areas and organize continuous training programs for employees. For storage areas, a separate configuration should be defined and included in the employment contracts, and safety measures such as warning signs, deceleration measures, and flagmen should be taken for road and traffic safety in the area. This provides a safe working environment for employees and visitors (Özkan, 2021).

**Table 6.** Comparison of 3T and Fine Kinney Risk Assessments of Switchyard and Stockyard

No	Switchyard and Stockyard	Fine Kinney	3T
1	During work in electrical switchgears and general factory electrical and electronic maintenance work, the worker is caught in rotating equipment and injured by sharp objects or jamming.	POSSIBLE RISK	III. Primary Hazards
2	Inadequate dust suppression in stockyards and roads	HIGH RISK	I. Primary Hazards
3	Inappropriate ground due to not figuring the stock areas	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
4	Coal Stockyard Loading Unloading	HIGH RISK	I. Primary Hazards
5	Not defined stock areas (no warning signs and plates)	POSSIBLE RISK	III. Primary Hazards

### 3.4. Cement mills

During silo and bunker cleaning operations, working at heights and the need to work at heights to open mill covers are considered by FKM to have a moderate probability of occurrence and significant potential consequences. In the 3T, these situations are classified as hazards of secondary priority (Table 7). In other words, they are among the hazards with moderate levels of risk importance and urgency. Failure to implement lockout procedures, failure to perform TLVT when entering the mill and separator are considered high risks in the FKM, while in the 3T they are classified as high priority hazards. This indicates that these are hazards with a high level of risk significance and urgency.

Company policies and procedures should be followed in plant operations, and the lockout/tagout procedure should be effectively implemented. Working at heights and confined space work permit forms are of great importance in eliminating hazards. Training in the use of safety belts and the proper selection of anchorage points will make working at height safer. It is recommended that a walking platform and/or guardrails be constructed when working on the mill (Şardan, 2005).

**Table 7.** Comparison of Cement Trainers' 3T and Fine Kinney Risk Assessments

No	Cement Mills	Fine Kinney	3T
1	Failure to follow the lockout procedure	HIGH RISK	I. Primary Hazards
2	Failure to apply TLVT while entering the mill	HIGH RISK	I. Primary Hazards
3	Failure to apply TLVT while entering the separator	HIGH RISK	I. Primary Hazards
4	Working at height during silo and bunker cleaning	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
5	Working at height so that the mill covers can be opened	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards



### 3.5. Main and auxiliary crusher unit

Failure to implement the lockout/tagout procedure on crusher units, the risk of falling objects during infeed, and the failure of system start and stop warning signals were assessed as high risks in the workplace risk assessment. 3T has reported this situation as a priority I threat with high urgency (Table 8).

In the maintenance and repair of crushers, operating instructions and procedures are of great importance. However, in addition to operating instructions and procedures, the implementation of the lockout/tagout procedure is also required. The lockout/tagout trial procedure is a critical step to ensure the safety of employees. This procedure involves shutting down the power source to the crushers and making them safe using the lockout/tagout method. This prevents unexpected operation of the crushers and ensures operator safety. The effective use of PPE in crusher maintenance and repair is also critical. The PPE is equipment that helps protect employees from serious injuries and hazards. Therefore, it is important that employees use this equipment correctly and that it is inspected regularly (Karahana, 2016).

**Table 8.** Comparison of 3T and Fine Kinney Risk Assessments of Main and Auxiliary Crusher Unit

No	Main and Auxiliary Crusher Unit	Fine Kinney	3T
1	Failure to follow the lockout procedure	HIGH RISK	I. Primary Hazards
2	Pieces falling out during feedings	HIGH RISK	I. Primary Hazards
3	System start and stop warning signals not working	HIGH RISK	I. Primary Hazards

### 3.6. Raw mill, dosing and silos

Hazards such as falls and injuries resulting from work at heights in mills and work at heights on equipment, performing belt under cleaning and environmental cleaning while the system is operational, accidental material feeding during bunker cleaning, and workers being affected by pressure during silo cleaning (Table 9) are evaluated as potential risks in the FKM, and they are classified as hazards of medium importance and urgency. This indicates that they are among the hazards with moderate risk priority in the 3T. The risk of vibrations occurring in the body of the mill during the grinding process is assessed as low in FKM and its possible consequences are considered to be within acceptable limits, while 3T assesses this situation as a hazard of the III. degree. Hazards such as hand injuries due to entrapment when the mill cover is opened, working in a dusty environment due to residual dust inside the mill, filters being blocked or affected by ambient dust during operation of the mill and conveying lines, and the body being affected by noise caused by the

operation of the mills are considered significant risks in the FKM and are accepted as priority hazards in the 3T.

Physical changes made to machinery and equipment should be carefully monitored through change management processes, and other employees should be informed about these changes. PPE should be selected according to PPE specifications and its use should be closely monitored. In addition, noise levels in the work environment should be measured regularly and necessary precautions taken. Personnel working hours should be regulated within the framework of legal requirements, and work areas should be constantly kept clean and organized. In particular, procedures for working at heights should be properly implemented and necessary precautions taken for the safety of employees. Controlling changes made in the work environment and informing employees about them are important in terms of occupational health and safety. The correct selection and use of PPE is a critical factor in ensuring employee safety. Measuring noise levels and taking the necessary precautions is necessary to maintain hearing health in the workplace (Çankaya and Çankaya, 2015).

**Table 9.** Comparison of 3T and Fine Kinney Risk Assessments of Raw Mill, Dosing and Silos

No	Raw Mill, Dosing and Silos	Fine Kinney	3T	
1	Injury due to human fall due to work at height in raw mills and work at heights on equipment	POSSIBLE RISK	III. Hazards	Primary
2	Cleaning the underbelts and the environment while the system is on	POSSIBLE RISK	III. Hazards	Primary
3	Injury due to handshake while opening the raw mill cover	SIGNIFICANT RISK	II. Hazards	Primary
4	Working in a dusty environment due to dust remaining in the mill	SIGNIFICANT RISK	II. Hazards	Primary
5	During the operation of the Raw Mill and the delivery lines, the filters are out of order or the body is affected after dust caused by the environment.	SIGNIFICANT RISK	II. Hazards	Primary
6	The body is affected by the noise due to the noise caused by the operation of the mills.	SIGNIFICANT RISK	II. Hazards	Primary
7	Vibration in the body of the Raw Mill during the grinding process	ACCEPTABLE RISK	III. Hazards	Primary
8	Accidental feeding of material to the bunker while cleaning is being done in the bunker	POSSIBLE RISK	III. Hazards	Primary
9	Operation of air blasts during silo cleaning and workers being affected by pressure	POSSIBLE RISK	III. Hazards	Primary
10	Accidental feeding of material to the bunker while cleaning in the silo	POSSIBLE RISK	III. Hazards	Primary
11	Sliding of the material inside and collapsing of the workers into the material during cleaning	POSSIBLE RISK	III. Hazards	Primary

### 3.7. Construction equipment and machinery maintenance

The use of negative and worn-out tires in construction machinery, as well as the high vibration generated during machine operation, has been identified as a high-risk factor according to Table 10

and the FKM. In this case, it has been determined that the likelihood of the risk occurring is high and the potential consequences are significant. In particular, the presence of underinflated or worn tires on construction equipment can negatively impact safe and healthy working conditions and pose serious risks. Therefore, eliminating or mitigating these hazards is considered a high priority. Injuries resulting from the use of cranes and hand tools, as well as hazards resulting from failure to follow work instructions when changing machine tires, are rated by FKM as risks with a moderate probability of occurrence and significant potential consequences. In other words, the likelihood and impact of these hazards are moderate compared to other hazards. In the 3T, this situation falls among the second-priority hazards. Thus, the importance and urgency of these hazards are considered slightly lower than those of high-priority hazards. This does not diminish the significance of these hazards; it only creates a distinction in priority order.

Regular maintenance and inspections of machinery and vehicles are critical to occupational health and safety and must be performed with care. Work equipment should be subjected to scheduled periodic inspections and carefully inspected for abnormalities. These inspections should be performed periodically to ensure the functionality and safety of the equipment. Timely and accurate periodic inspections allow for continuous monitoring of the condition of work equipment and the implementation of necessary precautions. Any adverse condition or malfunction found during these inspections should be promptly documented and repairs initiated immediately (Khaviya et al., 2017).

**Table 10.** Comparison of 3T and Fine Kinney Risk Assessments of Construction Equipment and Machinery Maintenance

No	Construction Equipment and Machinery Maintenance	Fine Kinney	3T
1	Using very bad and worn tires	HIGH RISK	I. Primary Hazards
2	High vibration	HIGH RISK	I. Primary Hazards
3	Injuries during working with cranes and hand tools.	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
4	Non-compliance with the work instructions in the tire changes of the construction equipment	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards

### 3.8. Raw material and raw Material quarries

The risk of material falling from the slope, injuries caused by trucks overturning or colliding in storage areas, injuries to employees caused by landslides, and soil collapse that may occur in the environment due to weather conditions (see Table 11) have been assessed by FKM as high-risk hazards. They are recorded as Priority 1 hazards in the 3T system. Hazards such as injuries caused by incorrect detonation during blasting operations and the failure to conduct periodic inspections of detonators, magnetos, and resistance meters have a low probability of occurrence according to FKM,

but their potential consequences can be serious. These hazards are included as Priority 3 hazards in the 3T system, which means they are among the hazards with low significance and urgency.

Obtaining a work permit is important from an occupational health and safety perspective. A work permit refers to the process of obtaining the necessary permits to safely perform a specific job. This permit requires employees to complete certain procedures before starting work and ensures their approval based on the employer's risk assessment. The TLVT procedure is used to isolate the energy of equipment to be worked on and ensure that the work is done safely. The TLVT procedure is crucial in preventing equipment from unexpectedly starting up and avoiding hazardous situations (Etim et al., 2021). Training and competency procedures are implemented to ensure that employees have the knowledge and skills to perform their work safely. Employees should receive the necessary training and demonstrate their qualifications before starting their jobs. These procedures are critically important in minimizing workplace accidents and risks. Ensuring the safety and health of employees is the responsibility of the employer, and the meticulous implementation of these procedures is vital for providing a safe and healthy working environment.

**Table 11.** Comparison of 3T and Fine Kinney Risk Assessments of Raw Material and Raw Material Quarries

No	Raw Material and Raw Material Quarries	Fine Kinney	3T
1	Fragments falling from the slope steps	HIGH RISK	I. Primary Hazards
2	Danger of falling from slope steps	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
3	Injuries resulting from the overturning or collision of trucks operating in stockyards	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
4	Injury of employees as a result of landslides and soil collapses that may occur in the environment due to weather conditions	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
5	Injuries caused by incorrect blasting during dynamite blasting operations	POSSIBLE RISK	III. Primary Hazards
6	Failure to perform periodic checks of igniter magneto and resistance meters	POSSIBLE RISK	III. Primary Hazards

### 3.9. Packaging

Failure to implement the lockout procedure is considered a high risk in FKM and a priority I hazard in 3T. The detachment of packaging tape connections and their falling onto the worker (Table 12) is evaluated as a significant risk for FKM. 3T considers this situation as a priority II hazard. The risk of injury or death from being caught in moving equipment on belts and machinery, and the risk of injury or death from intervention in moving equipment during interventions, is considered a potential hazard in FKM and a priority III hazard of low significance and urgency in 3T. Performing

cleaning tasks on operational belts is an acceptable risk in FKM but falls into the priority III risk class in 3T.

All moving equipment within the packaging system is a major potential source of worker safety hazards. Therefore, appropriate enclosures should be installed around them. Regular monitoring and inspection of enclosures should be diligently performed by area supervisors. This will ensure that the enclosure system is operating continuously and effectively and that employee safety is maintained. Site inspections are conducted to determine whether safety rules and enclosure systems are properly implemented in the workplace. Inspection results are reported regularly and necessary adjustments are made. In addition, site cleanliness and organization are critical and should be monitored regularly. A clean and organized work environment helps prevent accidents and injuries (Karahana and Akosman, 2018). Adhesive tapes are another critical safety element in the packaging system. Properly securing these tapes with double security measures is essential to prevent potential safety issues. In addition, the need for a complete overhaul of tape technology should be considered as an important investment. Using tapes that comply with current technology and safety standards is critical to employee safety and increases workplace security.

**Table 12.** Comparison of 3T and Fine Kinney Risk Assessments of the Packaging Area

No	Packaging	Fine Kinney	3T
1	Failure to follow the lockout procedure	HIGH RISK	I. Primary Hazards
2	Disconnection of packing tongue tapes and falling on employee	SIGNIFICANT RISK	II. Primary Hazards
3	Injury, death as a result of tripping on moving equipment in belts and equipment.	POSSIBLE RISK	III. Primary Hazards
4	Performing cleaning works on working bands	ACCEPTABLE RISK	III. Primary Hazards
5	Injury and death as a result of interfering with moving equipment during the intervention.	POSSIBLE RISK	III. Primary Hazards

#### 4. Conclusion

The 3T and FKM are two approaches that use different methodologies to perform risk assessments. Some points of comparison between these two methods can be listed as follows:

**Method and Purpose:** The 3T provides a comprehensive risk assessment process that includes hazard identification, diagnosis, and measures. Its purpose is to identify hazards, analyze exposure levels, rate risks, and determine risk control measures. It is commonly used in the field of occupational health and safety. On the other hand, the FKM is preferred for assessing and evaluating risks in business projects. It is used to analyze the costs and risks of projects and to inform decision makers.

**Method Content:** The 3Ts include steps such as hazard identification, exposure level analysis, risk assessment and determination of risk control measures. The identification of hazards and risk assessment primarily rely on quantitative and numerical data. Conversely, the FKM uses weighting factors that can vary depending on the project's characteristics and organization's priorities. It assesses the risks of projects in a broader and conceptual manner.

**Application Areas:** The 3T is commonly used in occupational health and safety, while the FKM is preferred for project risk analysis and effective resource management.

**Quantitative and Qualitative Aspects:** The 3T generally conducts risk assessment based on quantitative and numerical data. The FKM, however, typically involves qualitative and conceptual expressions in conducting risk assessment.

The 3T approach is easy to implement and does not require experienced personnel. However, FKM does require experienced personnel. Determining the probability and frequency of risk occurrence requires significant research and experience. The 3T is a simple and straightforward approach and is an effective tool used for risk assessments. However, FKM is a more complex analysis method and is recommended to be implemented by experts with advanced knowledge and experience. FKM requires the analysis of various data to determine the frequency of events and situations with high risks. These data can include occupational safety records, accident reports, industrial statistics, and other similar sources. Experienced personnel can accurately assess the probability and frequency of risk occurrence based on this data. Additionally, during the implementation of FKM, various factors that affect the probability of a specific event occurring must be taken into account. These factors may include operational conditions, equipment status, employee competencies, and other environmental factors. By analyzing these factors, experienced personnel can determine the probability and frequency of risk occurrence more effectively. In conclusion, the implementation of FKM is an important tool in risk management and safety planning processes. However, the knowledge and experience of experienced personnel in using this method and accurately determining the probability and frequency of risk occurrence are crucial.

### **Acknowledgements**

We, the authors, would like to thank the Ağrı Cement Factory officials for their assistance during our study.

### **Authors' Contributions**

All authors contributed equally to the study.

## Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Ateş, K. T., (2022). Sanayi Firmalarında Tehlikelerin Belirlenmesi ve Olası Risklerin Değerlendirilmesi- Fine-Kinney Metodu ile Bir Uygulama, Mühendislikte Güncel Araştırmalar, Gece Kitaplığı, 15-28
- Ayan, B., Çakmak, E., Karaman, E., & Koçak, D. (2013). Mahalli İdarelerde İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi. *Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi (ÇASGEM) Yayını.*
- Birgören, B. (2017). Fine Kinney risk analizi yönteminde risk analizi yönteminde risk faktörlerinin hesaplama zorlukları ve çözüm önerileri. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 9(1), 19-25.
- Cündübeyoğlu, İ., & KAYABAŞI, R. (2022). Seramik Fabrikasında Fine-Kinney Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (35), 633-642.
- Çağatay, B. (2021). Türkiye’de Çimento Sektörüne İlişkin Gelecek Tahminleri; Küresel Ticaret Ve Makroekonomik Değişkenler Işığında Yeni Politikalar. *Dumlupınar Üniversitesi İİBF Dergisi*, (8), 95-115.
- Çankaya, S., & Çankaya, S. (2015). Occupational health and safety in cement industry. *Journal of International Scientific Publications: Ecology & Safety*, 9(1000011), 243-50.
- Çavuş, A. (2016). Türkiye’de inşaat sektöründeki iş kazalarının sınıflandırılarak nedenlerinin incelenmesi. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 4(2).
- Delibalta, M. S., & Türkmen, O. T. (2022). Kayseri Çimento Fabrikasında Kaza Risk Faktörlerinin Fine-Kinney Metodu ile Analizi. *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*, 6(3), 131-139.
- Dogan, B., Oturakci, M., & Dagsuyu, C. (2022). Action selection in risk assessment with fuzzy Fine–Kinney-based AHP-TOPSIS approach: a case study in gas plant. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(44), 66222-66234.
- Engin, Y., Tarhan, M., & Kumbaracıbaşı, S. (2013). Çimento endüstrisinde sürdürülebilir Üretim. *Hazır Beton Kongresi, İstanbul.*
- Etim, M. A., Babaremu, K., Lazarus, J., & Omole, D. (2021). Health risk and environmental assessment of cement production in Nigeria. *Atmosphere*, 12(9), 1111.
- Gunduz, M., & Laitinen, H. (2018). Construction safety risk assessment with introduced control levels. *Journal of Civil Engineering and Management*, 24(1), 11-18.
- Kara, B., Canbaz, M., Doğan, E. S., Ayyıldız, E. (2023). ISO 31000 Risk Yönetimi Çerçevesi ve ALARP İlkesi Kullanılarak Yeni Bir Gıda İşleme Tesisinin Risklerinin Değerlendirilmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(4), 1759-1779. <https://doi.org/10.31466/kfbd.1335322>
- Karahan, V. (2016). Çimento Üretim Prosesinde Risk Analizi ve Değerlendirmesi. Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elâzığ.
- Karahan, V., & Akosman, C. (2018). Occupational Health Risk Analysis And Assessment İn Cement Production Processes. *Turkish Journal of Science and Technology*, 13(2), 29-37.
- Khaviya, S., Kavitha, S., & Manoj, S. (2017). A risk assessment study on occupational hazards in cement industry. *Int Res J Eng Technol*, 4, 12.
- Koçak, M. (2022). Tersanelerde yangın güvenliği ve risk analizi özel bir tersanenin Fine Kinney risk analiz yöntemi ile incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Köşek, M. (2016). *İş sağlığı ve güvenliğinde 3T ve Fine-Kinney risk analizi yöntemleri ve metal sektöründeki bir işletmede uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Kuleshov, V. V., Skuba, P. Y., & Ignatovich, I. A. (2021). Assessment of the severity of the last accident based on the Fine-Kinney Method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 720, No. 1, p. 012094.
- Laitinen, H., Vuorinen, M., Simola, A., (2012). *İmalat Sanayinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetimi*, MESS Yayın No: 649, İstanbul.
- Özkan, T. (2021). *Çimento üretim sektöründe toz seviyelerinin belirlenmesi ve çalışanlar üzerindeki etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarsus.
- Polat, Ç. (2007). Yoğunlaşma ve Piyasa Yapısı İlişkisi Çerçevesinde Türk Çimento Sektörünün Yapısal analizi. *Anadolu University Journal of Social Sciences*, 7(2).
- Şenyurt, O. (2019). *Kalker (kireçtaşı) ocağı işletmesinde risk değerlendirme uygulaması ve yöntemlerin karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Çankaya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şardan, H. S. (2005). *İş sağlığı ve güvenliğinde yeni oluşumlar; risk değerlendirmesi ve OHSAS 18001*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
- Şimşek, S. (2020). İş Sağlığı ve Güvenliği Kapsamında Risk Değerlendirme Metotlarından Fine Kinney Metodunun Bir Örnekle Değerlendirilmesi. *İsg Akademik*, 2(2), 91-99.
- Topuksak, D. (2018). *3T risk değerlendirmesi yönteminin etkinliğinin arttırılmasına yönelik bir yaklaşım*. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Tüzemen, A., & Yıldız, Ç. (2018). Geleceğe Yönelik Tahminleme Analizi: Türkiye Çimento Üretimi Uygulaması. *Journal of Management and Economics Research*, 16(3), 162-177.
- Umutlu, S., & Karcioğlu, F. (2021). İş Sağlığı ve Güvenliğinin İş Tatmini Üzerine Etkisi: Çimento Sektöründe Bir Uygulama. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 26(1), 65-81.
- Vahapassi, H., Laitinen, S., Campbell, E., Ersan, B., Birgören, M., Özese, L., Matisane, C., Şimşek, K., Atlı, D., Demirkol, S., Rodoplu, (2012). KOBİ'ler için İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Rehberi: Risk Değerlendirmesi, İSG Performans İzleme ve Sağlık Tehlikeleri – Metal Sektörü, Türkiye’de İş Sağlığı ve Güvenliği Koşullarının İyileştirilmesi Projesi (İSGİP) – TR0702.20-01/001 (AB Projesi, Yararlanıcı: İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü).
- Yaşar O, Sarı F, Birgören B. (2013). Metal Sektörüne Yönelik 3T Risk Değerlendirme Yöntemi ve Elmeri Yönteminin KOBİ'ye uygulanması. 13.Üretim Araştırmaları Sempozyumu. Sakarya: Sakarya Üniversitesi, 2013:761-770.
- Yıldız, A. T. (2019). *Çimento fabrikalarında iş kazaları ve meslek hastalıklarının iş yeri güvenlik kültürü ile ilişkisi: Medcem Madencilik çimento fabrikası örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Tarsus Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Tarsus.
- Yıldız, Z. (2022). Bir Çimento Fabrikasında Toz Seviyelerinin Belirlenmesi ve Çalışan Sağlığı Üzerine Etkileri. *Sağlık Akademisi Kastamonu*, 7(3), 548-563.



## New Formulas and New Bounds for the First and Second Zagreb Indices of Phenylenes

Elif ERYAŞAR<sup>1\*</sup>, Esra ÖZTÜRK SÖZEN<sup>2</sup>, Şerife BÜYÜKKÖSE<sup>3</sup>

### Abstract

Graph theory is widely used to represent and analyze chemical structures. In addition, topological indices developed for graphs have a connection with the relationships of chemical structures such as physicochemical and bioactivity. Topological indices are widely used in QSPR-QSAR analysis and have found many applications in chemical graph theory. The oldest known degree-dependent topological indices are the first and second Zagreb indices. These indices have found wide application in chemical structures. Phenylenes containing aromatic and antiaromatic rings exhibit unique physicochemical properties and there is a wide variety of studies on phenylenes. In this article, we present some new formulas and lower bounds for the first and second Zagreb indices molecular structures of phenylenes. In addition, the BFS algorithm method, which is one of the graph algorithms, was used for the first time for the boundary study of chemical structures.

**Keywords:** First and second Zagreb indices, BFS algorithms, phenylenes.

## Fenilenlerin Birinci ve İkinci Zagreb İndeksleri için Yeni Formüller ve Yeni Sınırlar

### Öz

Graf teorisi, kimyasal yapıları temsil etmek ve analiz etmek için yaygın olarak kullanılır. Ayrıca graflar için geliştirilen topolojik indeksler fizikokimyasal ve biyoaktivite gibi kimyasal yapıların ilişkileriyle de bağlantılıdır. Topolojik indeksler QSPR-QSAR analizinde yaygın olarak kullanılmaktadır ve kimyasal graf teorisinde birçok uygulama bulmuştur. Bilinen en eski dereceye bağlı topolojik indeksler birinci ve ikinci Zagreb indeksleridir. Bu indeksler kimyasal yapılarda geniş uygulama alanı bulmuştur. Aromatik ve antiaromatik halkalar içeren fenilenler benzersiz fizikokimyasal özellikler sergilemektedir ve fenilenler için çok çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu yazıda fenilenlerin birinci ve ikinci Zagreb indekslerinin moleküler yapıları için bazı yeni formüller ve alt sınırlar sunuyoruz. Ayrıca graf algoritmalarından BFS algoritması yöntemi ilk kez kimyasal yapıların sınır çalışmasında kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Birinci ve ikinci Zagreb indeksleri, BFS Algoritması, fenilenler.

<sup>1</sup>Sinop University, Department of Mathematics, Faculty of Science and Arts, Sinop, TURKEY, [eeryasar@sinop.edu.tr](mailto:eeryasar@sinop.edu.tr)

<sup>2</sup>Sinop University, Department of Mathematics, Faculty of Science and Arts, Sinop, TURKEY, [esozen@sinop.edu.tr](mailto:esozen@sinop.edu.tr)

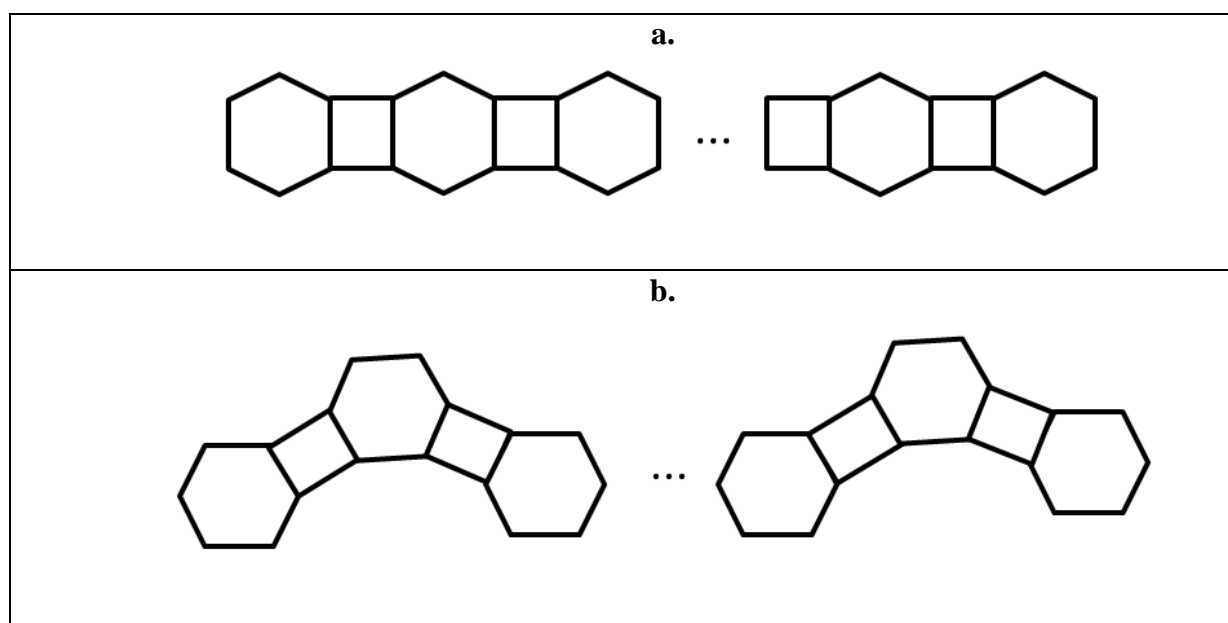
<sup>3</sup>Gazi University, Department of Mathematics, Faculty of Science, Ankara, TURKEY, [sbuyukkose@gazi.edu.tr](mailto:sbuyukkose@gazi.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

## 1. Introduction

Graph theory allows the generation of many useful qualitative predictions about the structure and reactivity of various compounds in chemical structures. Chemical structures can be represented as graphs and these chemical graph representations have wide applications; for example, they can be used as a basis for the representation and classification of many chemical systems (Gutman and Trinajstić, 2005).

Phenylenes are actually a class of conjugated hydrocarbons consisting of six- and four-membered rings in which each four-membered ring is adjacent to a non-contiguous pair of hexagons (see Figure 1). Due to their aromatic and antiaromatic rings, phenylenes show unique physicochemical properties. Phenylenes, especially phenylene chains, are remarkable structures because of their excellent properties (Yang and Wang, 2019; Rashid et al., 2022). They are nanostructures that can be designed and fabricated very carefully for a wide variety of applications. If phenylene  $h$  consists of a hexagon, it is called  $h$ -phenylene. The number of four-membered rings of  $[h]$ -phenylene is  $h - 1$ . More information on the chemistry of phenylenes can be found in the reviews (Toda and Garratt, 1992; Vollhardt and Mohler, 1996). These discoveries in the experimental chemistry of the phenylenes opened new avenues for a great deal of theoretical investigation (Faust et al., 1992; Marković and Gutman, 1999).



**Figure 1.** a. A linear phenylene chain b. A zigzag phenylene chain (Wu, 2016)

In the graph structure of a chemical structure, the vertices represent atoms and the edges represent chemical bonds and a numerical value calculated mathematically using a molecular graph is called a topological index (Rashid et al., 2022). Topological indices based on degree and distance

are highly used in the mathematical process of combining chemical structure with physical attributes, chemical reactivity or biological activity (Jacob et al., 2023). The first known topological index was introduced in the study of boiling points of paraffin structures introduced by Wiener (Wiener, 1947). Subsequently, studies on topological indices have been proceeded by many researchers (Havare & Havare, 2022; Havare, 2024; Yousefi-Azari et al., 2024). Degree-based topological indices occupy a large place among them due to their ease of formulation and their widespread use in modeling the physicochemical properties of molecules (Das and Mondal, 2023). The first and second Zagreb indices are graph topological indices introduced by Gutman and Trinajstić. These indices are degree-dependent topological indices that were first known and widely used at chemical graph theory. The Zagreb indices and its variants have been used to study molecular complexity, chirality, quantitative structure-property/activity relationships (QSPR/QSAR) and multilinear regression models (Feng and Hu, 2011). The First and Second Zagreb indices  $M_1(G)$  and  $M_2(G)$  respectively are defined as follows:

$$M_1(G) = \sum_{i \in V(G)} d_i^2$$

$$M_2(G) = \sum_{ij \in E(G)} d_i d_j$$

where the number of edges joining one vertex  $i$  to other vertices is called the degree of  $i$  and is denoted by  $d_i$ . So far, too many inequalities have been proven regarding these indices formulas and bounds. In this study, we give various formulas for the first and second Zagreb indices of phenylene structures and then find lower and upper bounds for the first and second Zagreb indices of phenylene structures and support them with proofs. And note that, we use BFS graph algorithm method firstly, to determine upper and lower bounds of mentioned topological indices of the molecular graph structure phenylenes.

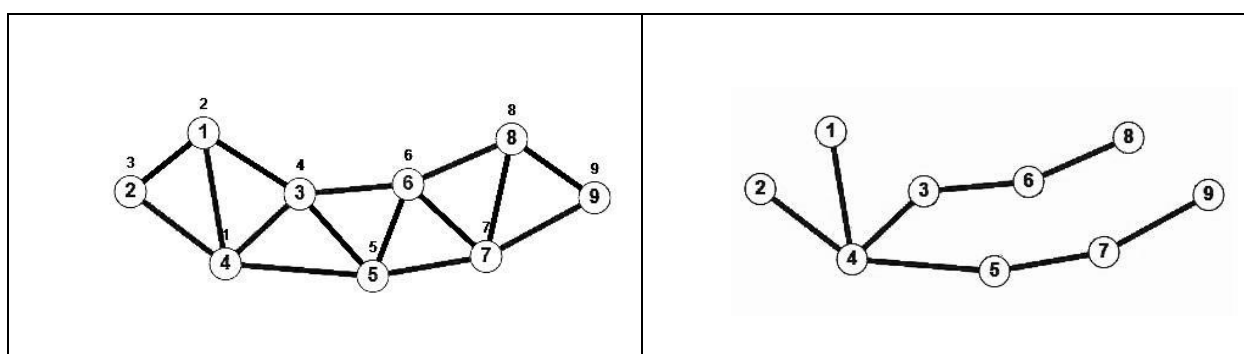
## 2. Materials and Methods

### 2.1. BFS Algorithms

Search problems frequently take the form of graph search problems, which can be solved by exploring a space of possible solutions in a systematic order (Çölkesen, 2015; Eryaşar ve Büyükköse, 2023; Everitt ve Hutter, 2015). The most commonly used search methods are BFS (breadth-first search) and DFS (depth-first search) algorithms. BFS is employed to identify connected components, assess bipartiteness, and compute shortest paths based on the number of edges (Scheffler, 2022). Similarly, DFS is utilized to locate doubly connected components in undirected graphs, strongly

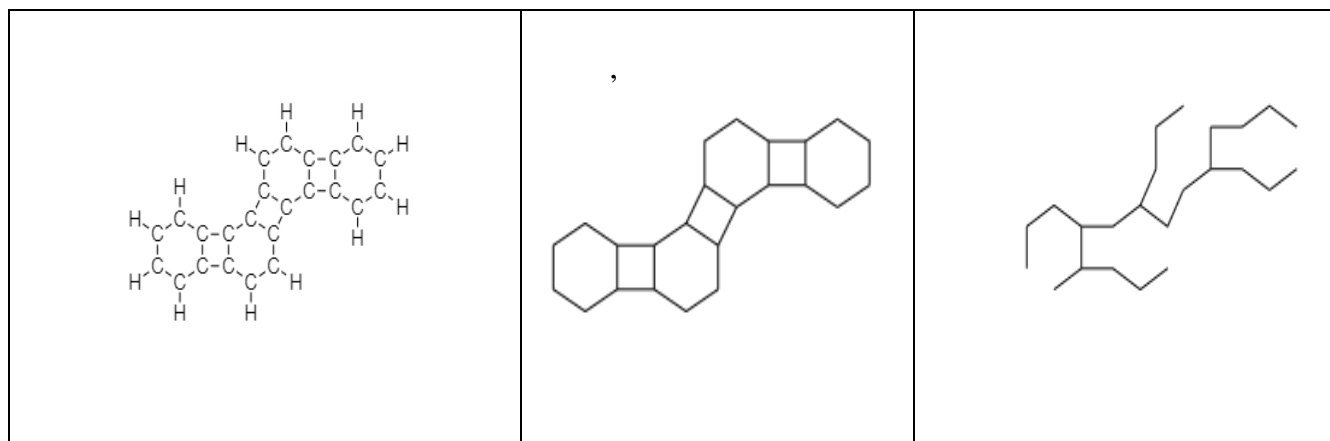
connected components in directed graphs, and topological orders of directed acyclic graphs (Hopcroft and Tarjan, 1973).

Breadth First Search (BFS) is a graph search algorithm and has a special importance among graph algorithms. The BFS algorithm is widely used in countless applications and even in daily life. The BFS algorithm is widely used even in everyday life in structures such as GPS systems and to find a series of paths between two vertices whose lengths are in a certain range (Yoo et al., 2005). This algorithm works based on the neighborhood of a point. First, a starting point is selected, then each starting point adjacent to this starting point is visited (Figure 2). Based on any feature for these visited points (graph corner point naming, etc.), all running points of that point are visited from a new point. The process continues until all vertices of the graph are visited (Eryaşar and Büyükköse, 2023). The tree graph obtained as a result of this circulation is called the BFS tree.



**Figure 2.** Application of BFS algorithm and formed BFS tree

In this study, lower and upper bound theorems have been developed for these structures, owing to the tree structure obtained as a result of applying the BFS algorithm to the graph representation of phenylene structures. When applying the BFS algorithm, we start with one of the vertices with the largest initial degree (represented by  $\Delta$ ) (Figure 3).



**Figure 3.** Example of phenylene and BFS tree presented with structural formulas and corresponding molecular graphs (Marković et al., 2001)

### 3. Findings and Discussion

#### 3.1. First and Second Zagreb Indices of Phenylenes

**Lemma 1.** If a phenylene structure consists of  $m$  squares and  $n$  hexagons, then the number of vertices for the graph structure of phenylene is  $6n$  and the number of edges is  $6n + 2m$ .

**Theorem 1.** Let a phenylene structure with  $v$ -point consists of  $n$  hexagons and  $m$  squares. Then,

$$M_1(G) = 4(5m + v)$$

and

$$M_2(G) = 3(3v - r - 14) - 5s.$$

*Proof.*

For a phenylene structure, each vertex of the squares have the degrees 3, and vertices outside the square corners of the hexagon have the degrees 2, thus

$$\begin{aligned} M_1(G) &= 4m(3^2) + (v - 4m)(2^2) \\ &= 4(5m + v). \end{aligned}$$

Firstly note that  $r$  and  $s$  will represent the number of edges  $E_{2,3}$  and  $E_{2,2}$ , respectively where  $E_{i,j} = \{d_u = i \text{ and } d_v = j\}$ .

Let us do the proof for an  $w$ -edged phenylene considering the edges. For only a square in a phenylene structure since each of the corner points has the degree 3, then there are four  $E_{3,3}$ . For a phenylene structure containing  $m$ -squared, the number of the edges  $E_{3,3}$  is  $4m$ . Also, three- $E_{2,2}$  and two- $E_{2,3}$  will come from the end hexagons of each phenylene structure. Thus  $4m \cdot (3.3) + [3(2.2) + 2(2.3)] = 36m + 48$  is constant. Finally, the remaining  $(w - 4m - 10 - r - s)$  edges are  $E_{3,3}$ , therefore

$$\begin{aligned} M_2(G) &= 36m + 48 + 6r + 4s + (w - 4m - r - s - 10)9 \\ &= 9v - 3r - 5s - 42 \\ &= 3(3v - r - 14) - 5s. \end{aligned}$$

#### 3.2. New Lower and Upper Bounds for the First and Second Zagreb Indices of Phenylenes Structure with the help of BFS Algorithm

**Theorem 2.** For a phenylenes graph structure with  $v$ -points, there is an inequality as follows:

$$(\Delta^2 - 4)k - 6n + 4v \leq M_1(G)$$

where  $n$  is the total number of hexagons in phenylene,  $\Delta$  is the maximum degree for the BFS tree of the phenylene graph structure, and  $k$  is the maximum number of ordered points for the same tree.

*Proof.*

If the BFS algorithm is applied to a phenylene graph structure, a BFS tree is obtained. A phenylene is a structure made of hexagons and squares. Since the degree 3 is the maximum of the existed degrees in this structure, let take any point with the degree 3 as a starting point. Let there be  $k$  points of degree  $\Delta$  in the BFS tree of phenylene. All remaining points will have the degrees 1 or 2. If there are  $n$  hexagons in the phenylene structure, assume that phenylene has maximum  $2n$ -points in the BFS tree having degree 1. Therefore, the remaining  $v - k - 2n$  points are of degrees 2, hence

$$\begin{aligned} k\Delta^2 + 2n(1^2) + (v - k - 2n)2^2 &\leq k\Delta^2 + 2n + 4v - 4k - 8n \\ &\leq (\Delta^2 - 4)k - 6n + 4v \leq M_1(G). \end{aligned}$$

**Theorem 3.** For a phenylenes graph structure with  $v$ -points, there is an inequality

$$2(\Delta - 2)k + 4(v - n) \leq M_2(G)$$

where  $n$  is the total number of hexagons in phenylene,  $\Delta$  is the maximum degree for the BFS tree of the phenylene graph structure, and  $k$  is the maximum number of ordered points for the same tree.

*Proof.*

If the BFS algorithm is applied to a phenylene graph structure, a BFS tree is obtained. A phenylene is a structure made of hexagons and squares. Since the degree 3 is the maximum of the existed degrees in this structure, let take any point with the degree 3 as a starting point. If there are  $n$  hexagons in the phenylene structure, assume that phenylene has maximum  $2n$ -points in the BFS tree having degree 1. Let the degree of each point connected to these vertices be maximum 2. Let the phenylene BFS tree has  $k$  points with degree maximum  $\Delta$ . If we take the degrees of the vertices adjacent to these maximum degree points and the degrees of all the remaining points are of degrees 2, we get

$$\begin{aligned} (1.2)2n + (2.\Delta)k + (2.2)(v - 2n - k) &= 4n + 2\Delta k + 4v - 8n - 4k \\ &= 2(\Delta - 2)k + 4(v - n) \leq M_2(G). \end{aligned}$$

**Theorem 4.** For a phenylenes graph structure with  $v$ -points, there is an inequality

$$2((\Delta^2 - 4)4m - 3z + 4v) \geq M_1(G)$$

where  $v$  is the total number of hexagons in phenylene,  $\Delta$  is the maximum degree for the BFS tree of the phenylene graph structure, and  $m$  is the total number of squares.

*Proof.*

For the tree structure obtained as a result of applying the BFS algorithm to a phenylene containing  $m$ -squares, let  $4m$  be the number of vertices ordered  $\Delta$ . In addition  $z$  is the number of points with degree 1 and the number of points with degree 2 is  $(n - 4m - z)$ ,

$$\begin{aligned} 2[4m(\Delta^2) + z1^2 + (v - 4m - z)2^2] &= 2[4m\Delta^2 + z + 4v - 16m - 4z] \\ &= 2[(\Delta^2 - 4)4m - 3z + 4v] \geq M_1(G). \end{aligned}$$

**Theorem 5.** For a phenylenes graph structure with  $v$ -points, there is an inequality

$$4[2(m(\Delta - 4) + v) - z] \geq M_2(G)$$

where  $v$  is the total number of hexagons in phenylene,  $\Delta$  is the maximum degree for the BFS tree of the phenylene graph structure, and  $m$  is the total number of squares.

*Proof.*

If a phenylene with  $v$ -points contains  $m$ -squares, suppose that  $4m$  be the number of vertices ordered  $\Delta$ . Let us assume that the degree of each remaining point (depending on  $\Delta$ , including points with degree 1) in the BFS tree structure, including the number of graduated points  $z$ , are 2. In that case,

$$\begin{aligned} 2[4m(\Delta.2) + (1.2)z + (v - 4m - z)(2.2)] &= 2[8m\Delta + 2z + 4v - 16m - 4z] \\ &= 4[2m\Delta + z + 2v - 8m - 2z] \\ &= 4[2m(\Delta - 4) + 2v - z] \\ &= 4[2(m(\Delta - 4) + v) - z] \geq M_2(G). \end{aligned}$$

### Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

### Statement of Research and Publication Ethics

This study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Çölkesen, R. (2015). *Bilişim Matematiği* (First Edition). İstanbul: Papatya Publishing, 349-382.
- Das, K. C., and Mondal, S. (2023). On neighborhood inverse sum indeg index of molecular graphs with chemical significance. *Information Sciences*, 623, 112-131.
- Deng, H., Chen, S., and Zhang J. (2007). The PI index of phenylenes. *Journal of Mathematical Chemistry*, 41, 63-69.
- Eryaşar, E., and Büyükköse, Ş. (2023). Lower Bounds for Zagreb Indices of RNA Graphs Using Graph Algorithms. *Journal of Mathematics and Statistical Science*, 9, 1-9.
- Faust, R., Glendening, E. D., Streitwieser, A., Vollhardt, K. P. C., Weinhold, F. (1992). Ab initio study of sigma-and pi. effects in benzenes fuse to four-membered rings: rehybridization, delocalization, and antiaromaticity, *Journal of the American Chemical Society*, 114(21), 8263-8268 .
- Feng, Q., and Hu, Z. (2011). On the Zagreb index of random recursive trees. *Journal of Applied Probability*, 48(4), 1189-1196.
- Havare, Ö. Ç., and Havare, A. K. (2022). Computation of the forgotten topological index and co-index for carbon base nanomaterial. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42(6), 3488-3500.
- Havare, Ö.Ç. (2024). Reformulated zagreb indices of some cycle-related graphs and linear [n]-phenylenes. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 33-45.
- Gutman, I., and Trinajstić, N. (2005). *Graph theory and molecular orbitals*. Berlin: New Concepts II, Springer.
- Hopcroft, J., and Tarjan, R. (1973). Algorithm 447: Efficient algorithms for graph manipulation. *Communications of the ACM*, 16(6), 372-378.
- Jacob, K., Clement, J., Arockiaraj, M., Paul, D., and Balasubramanian K. (2023). Topological characterization and entropy measures of tetragonal zeolite merlinoites. *Journal of Molecular Structure*, 1277, 134786.
- Marković, S., and Gutman, I. (1999). Spectral moments of the edge adjacency matrix in molecular graphs. Benzenoid hydrocarbons. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 39(2), 289-293.
- Marković, S., Marković, Z., and McCrindle, R. I. (2001). Spectral moments of phenylenes. *Journal of Chemical Information and Computer Sciences*, 41(1), 112-119.
- Rashid, M. A., Ahmad, S., Siddiqui, M. K., Jahanbani, A., Sheikholeslami, S. M., and Shao, Z. (2022). New bounds for the Estrada index of phenylenes. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42, 1061-1077.
- Scheffler, R. (2022). On the recognition of search trees generated by BFS and DFS. *Theoretical Computer Science*, 936, 116-128.
- Toda, F., and Garratt, P. (1992). Four-membered ring compounds containing bis (methylene) cyclobutene or tetrakis (methylene) cyclobutane moieties. Benzocyclobutadiene, benzodicyclobutadiene, biphenylene, and related compounds. *Chemical Reviews*, 92(8), 1685-1707.
- Vollhardt, K. P. C., and Mohler, D. L. (1996). The Phenylenes: syntheses, properties, and reactivity. *ChemInform*, 27(40).
- Wiener, H. (1947) Structural determination of paraffin boiling points. *Journal of the American Chemical*, 69(1), 17-20.
- Wu, T. (2016). Two classes of topological indices of phenylene molecule graphs. *Mathematical Problems in Engineering*.
- Yang, Y., and Wang, D. (2019). Extremal phenylene chains with respect to the Kirchhoff Index and degree-based topological indices. *International Journal of Applied Mathematics*, 49(3).
- Yoo, A., Chow, E., Henderson, K., McLendon, W., Hendrickson, B., and Çatalyürek U. (2005). A scalable distributed parallel breadth-first search algorithm on BlueGene/L, SC'05. *Proceedings of the 2005 ACM/IEEE Conference on Supercomputing*, 25.
- Yousefi-Azari, H., Yazdani, J., Bahrami, A., and Ashrafi, A. R. (2007). Computing PI and Szeged indices of multiple phenylenes and cyclic hexagonal-square chain consisting of mutually isomorphic hexagonal chains. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 72(11), 1063-1067.



## Gümrük Kontrol Noktalarında Riskli Geçişlerin Belirlenmesine Yönelik Yapay Zekâ Temelli Bir Yaklaşım

Ezgi Zehra ŞEKER<sup>1</sup> , Ebru GEÇİCİ<sup>2\*</sup> , Alev TAŞKIN<sup>3</sup> 

### Öz

Gelişen teknoloji ve küreselleşmeyle birlikte ülkeler arasında insan ve ürün açısından giriş çıkışlar artmaya başlamıştır. Bu geçişlerde, ürünlerin ülkeler arasında aktarılması ile oluşan dış ticaret işlemlerinde ülkelerin belirli bölgelerinde yer alan sınır kapıları büyük önem taşımaktadır. Mal giriş çıkışının yapıldığı sınır kapıları gümrük olarak adlandırılmakta ve geçecek ürüne göre takip edilen süreçler farklılaşabilmektedir. Türkiye’de ise süreçlerin kontrol edilebilmesi için gümrük noktalarında üç farklı hat kullanılmaktadır: Kırmızı hat, sarı hat ve mavi hat. Kırmızı ve mavi hatlarda sırasıyla istisnasız tüm ürünler kontrol edilmekte ya da yetkilendirilmiş kişi sertifikasına sahip olanlar için kontrolsüz geçiş hakkı sağlanmaktadır. Sarı hatlarda ise ürünler gümrük memuru tarafından mevzuat ve yönergeye göre riskli ya da risksiz olarak sınıflandırılmakta ve bu sınıflandırma sonucuna göre gelen mallar kontrol edilmekte ya da edilmemektedir. Yapılan bu çalışmada sarı hat için ürünlerin riskli ya da risksiz olduğunu belirleyebilmek amacıyla makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak model geliştirilecektir. Bu doğrultuda makine öğrenmesi başlığı altında yer alan k-en yakın komşu, lojistik regresyon, destek vektör makineleri, karar ağaçları, rassal orman ve naif Bayes yöntemleri ve yapay sinir ağları başlığı altında yer alan çok katmanlı algılayıcı (multi layer perceptron-MLP) yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde karar ağacı yönteminin mevcut veri seti için en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sınıflandırma, Makine öğrenmesi, Yapay sinir ağları, Yapay zekâ, Gümrük kontrol süreçleri.

## An Artificial Intelligence Based Approach to Identify Risky Passes at Customs Control Points

### Abstract

With the developing technology and globalization, the entrances and exits of people and products between countries have begun to increase. Border gates located in some certain areas of the countries have great importance in foreign trade transactions that occur by transferring products between countries during these transitions. Border gates where goods are entered and exited are called customs and the processes followed can be differ according to the product to be passed. In Turkey, three different lines are used at customs points to control the processes: red, yellow, and blue. On the red and blue lines, respectively, all products are controlled without exception or the right of uncontrolled passage is provided for those with an authorized person certificate. On the yellow lines, on the other hand, the products are classified as risky or risk-free by the customs officer according to the legislation and directive, and the incoming goods are controlled or not according to the results of this classification. In this study, a model will be developed for the yellow line using machine learning (ML) and artificial neural network (ANN) methods in order to determine whether the products are risky or risk-free. In this direction, k-nearest neighbor, logistic regression, support vector machines, decision trees, random forest, and naive Bayes methods under the ML title and multi-layer perceptron (MLP) method under the ANN title are used. When the results are examined, it is observed that the decision tree method gives the best results for the existing data set.

**Keywords:** Classification, Machine learning, Artificial neural networks, Artificial intelligence, Customs control processes.

<sup>1,2,3</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye, zehra.kadiz@yildiz.edu.tr  
egecici@yildiz.edu.tr ataskin@yildiz.edu.tr

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 28.09.2023

Kabul/Accepted: 17.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

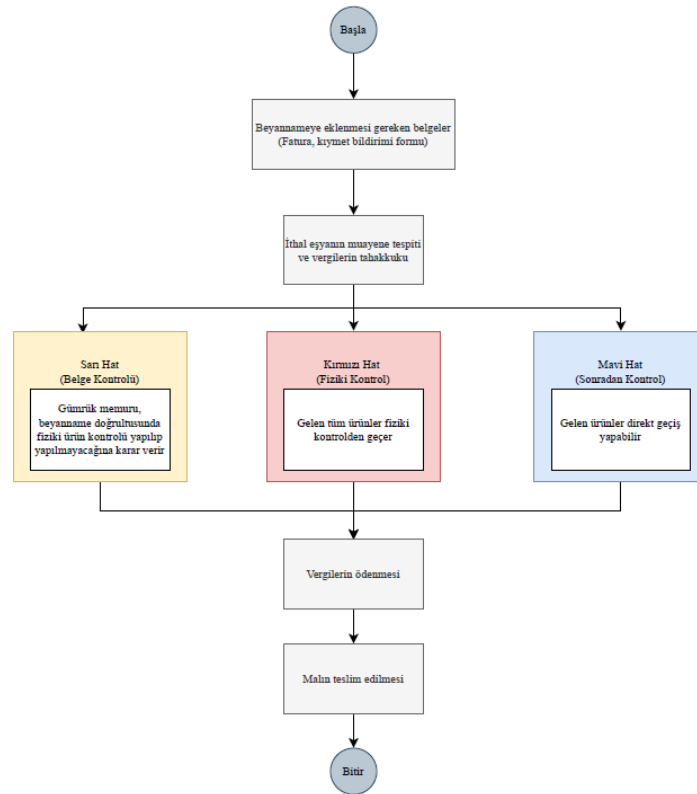
Küreselleşmeyle birlikte ülkelerin ekonomik anlamda bütünleşmeleri kaçınılmaz olmuştur. Dünya genelinde dış ticaretteki kısıtları ve kota sınırlarını azaltma ve kaldırma üzerine çalışmalar yapılmaktadır (Hatipler, 2011). Ülkeler arasındaki bu giriş çıkışların yapılması ve dış ticaret süreçlerinin yönetilebilmesi için ülkelerin sınırlarında yer alan belirli bölgelerde kontrol noktaları kurulmaktadır. Dış ticaret sürecinde ülke sınırlarından yapılan giriş çıkışlar sırasında mal akışının denetlendiği bu noktalara *gümrük* ya da *hudut kapısı* denilmektedir. Türkiye sınırlarında toplam 203 hudut kapısı bulunmaktadır ve Türkiye'nin sahip olduğu bu hudut kapıları Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu hudut kapılarından 30'u kara hudutu, sekizi demiryolu hudutu, 101'i deniz hudutu ve 64'i hava hudutudur. Kara hudut kapılarında 29, demiryolu hudut kapılarında beş, deniz hudut kapılarında 43, hava hudut kapılarında ise 13 gümrük müdürlüğü hizmet vermektedir (Gümrük İşlemleri, 2023).



Şekil 1. Türkiye'deki gümrük noktaları (Türkiye'nin Sınır Kapıları, 2023).

Dış Ticaret Müsteşarlığı'nın görev ve yetki alanında bulunan ithalat politikalarının zaman zaman çeşitli yöntemlerle etkisiz kılınabilmektedir. Bu durum, uygulanan politikadan beklenen sonucun alınamamasına, vergi kaybı meydana gelmesine, oluşan haksız kazanç nedeniyle piyasa aktörleri arasında haksız rekabet doğmasına dolayısıyla piyasa başarısızlığına neden olmaktadır. İthalat politikalarını etkisiz kılma fiilleri başlıca Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (GTİP), menşe ülke, eşyanın gümrük kıymeti, firma ve nihai kullanım alanı gibi politika parametrelerinde değişiklik yapmak suretiyle gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle gümrük kapılarından geçecek ürünlere ait ilgili bilgilerin yer aldığı belgelerin ayrıntılı şekilde kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda öncelikli olarak gümrük kapısına gelen her mal belge kontrolüne alınır. Kontrol aşamalarının düzenli

bir şekilde yürütülebilmesi için var olan hudut noktalarından, o noktalar için tanımlanmış ürünler geçmekte ve geçişlerin sağlanabilmesi için Şekil 2’de yer alan akış diyagramındaki süreçler takip edilmektedir. Şekil 2’de belge kontrolleri sağlanan malların muayene işlemi için gidebileceği üç hat bulunmaktadır: Sarı hat, kırmızı hat ve mavi hat. *Kırmızı hattan* geçen ürünler riskli kategorisinde yer almaktadır. Bu hattan geçen tüm mallar belge kontrolüne ek olarak fiziksel kontrole tabi olmaktadır. Gerekirse mallara kimyevi tahliller de yapılmaktadır. *Sarı hat* ise eşyaya ait beyanname ve eklerinin doğruluğunun ve birbiriyle uygunluğunun kontrol edildiği hattır. Kırmızı hatların aksine burada her ürün fiziksel kontrolden geçmemekte, çalışan memurların beyanname doğrultusunda gerekli görmesi halinde malların kontrolü yapılmaktadır. *Mavi hat* ise T.C. Ticaret Bakanlığı tarafından belirlenen onaylanmış kişi ya da kurum statüsüne sahip kişilerin/kurumların ihracatta yararlandığı, eşyanın çıkış işlemlerinin tamamlanmasından önce belge kontrolüne veya muayeneye tabi tutulmadığı hattır. Başka bir deyişle bu hatta belgelerin kontrolü daha sonra gerçekleştirilmek üzere gümrük işlemleri sırasında yapılmaz. Bu hatta belirtilen işlemler T.C. Ticaret Bakanlığı tarafından belirlenen usul ve esaslar çerçevesinde gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2. Gümrük süreçlerine ait akış diyagramı ve kontrol kodları.

Mavi hat ve kırmızı hatta takip edilecek işlemler başlangıç anında belirlidir. Eğer gelen ürünler mavi hattan geçecekse ürünlerin fiziki kontrolü yapılmadan ve belge kontrolü sonra gerçekleştirilmek üzere gelen ürünler direkt olarak hudut kapılarından geçebilmektedir. Kırmızı hatta yer alan ürünler

ise riskli kategoride oldukları için ürünlerin tamamı kontrol edilmektedir. Ancak sarı hatta yer alan kontrol işlemleri kırmızı ve mavi hattan farklı olarak o anda yapılan değerlendirmeye göre gerçekleşmektedir. Sarı hatta giriş çıkış sayılarının çokluğu nedeniyle tüm malların denetlenmesi mümkün olmamaktadır. Bu nedenle görevli memurun mevzuatlar dâhilinde gerekli gördüğü takdirde seçici inceleme ve denetim yapılmaktadır. Sarı hatta gelen ürünün fiziksel kontrolden geçip geçmeyeceğine, mevzuatlar doğrultusunda ürüne bağlı olarak gümrük memuru tarafından karar verilmektedir. Sarı hatlarda yapılacak kontroller T.C. Ticaret Bakanlığı tarafından yayınlanan mevzuat ve yönergeler dâhilinde görevli memurun kontrolüne bağlı olup yoğun dönemlerde doğru kararın verilmesi için gerekli süreç uzayabilir ve bu da kararın durumunu etkileyebilir. Alınan kararlar doğrultusunda bu hatta riskli görülen ürünler/geçişler ise kırmızı hatta yönlendirilmektedir. Bu çalışmanın kapsamı, sarı hatlarda yapılan geçişlerde hangi ürünlerin kontrol edilip edilemeyeceği ve kırmızı hatta yönlendirilmesi gerektiği konusunda görevli gümrük memuruna ön bilginin sunulması için bir karar destek sistemi oluşturmaktır. Bu doğrultuda memurun inisiyatifinde gerçekleşen muayene ve kontrol işlemine karar verilmesini sağlayan bir model geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda mevcut sistem için en uygun modelin geliştirilmesi amacıyla makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılacaktır.

Yapay zekânın bir alt dalı olan makine öğrenmesi, var olan verileri kullanarak sistemi anlayıp cevap üretecek şekilde modelin eğitilmesine odaklanmaktadır. Yapay sinir ağları ise insan beyninin çalışma yapısından esinlenilerek oluşturulmuştur. Makine öğrenmesi modelleri ve yapay sinir ağları, var olan bilgileri kullanarak yeni çıktılar üretebilme ve sistemi eğitebilme özelliğine sahiptir. Bu nedenle çok çeşitli alanlarda gerekli bilgiyi elde etmek için kullanılmaktadır. Bu alanlardan biri de *sahteciliğin tespit edilmesidir*. Her iki yöntem de farklı alanlarda sahtecilik tespiti için kullanılmıştır. Kullanım alanlarından bazıları finansal durumda sahteciliğin tespiti (Perols, 2011), kredi kartı sahteciliğinin tespiti (Dornadula ve Geetha, 2019; Thennakoon ve ark., 2019; Maniraj ve ark., 2019), tıbbi bakım sigortasında sahteciliğin tespiti (Bauder ve Khoshgoftaar, 2017; Johnson ve Khoshgoftaar, 2019)'dir. Sahteciliğin tespiti amacıyla yapılan çalışmalar incelendiğinde, literatürde yer alan bu çalışmaların çoğunluğunun finans sektöründe olduğu gözlemlenmektedir. Literatürde, yazarların bilgisi dâhilinde gümrüklerde riskli geçişler kaynaklı sahteciliğin tespitine yönelik çalışmaya rastlanmamıştır. Az sayıda çalışmaya konu olan gümrük süreçleri için sahteciliğin belirlenmesi anlamında yapılan ilk çalışma olması bu çalışmanın literatürdeki katkısını göstermektedir. Başka bir deyişle akıllı tabanlı yapılar içeren ve gümrük kapılarında günün şartlarına ve mevzuata göre değişiklikleri tespit eden riske dayalı bir karar destek sistemi mevcut değildir. Bu nedenle geliştirilecek model ile denetleme alanında oluşturulacak ön bilgi sağlama sistemi bir ilk olma özelliği taşımaktadır. Bu makalenin amacı, makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları yöntemleri kullanılarak en uygun model oluşturularak kısıtlı kaynakları en etkin şekilde kullanmayı sağlayacak

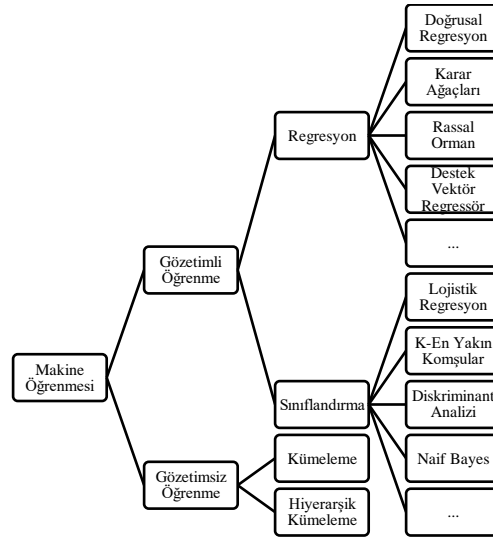
riske dayalı bir izleme ve denetim sistemi kurulmasıdır. Elde edilen model sayesinde sarı hatlara sonraki gelişlerde girişin riskli olup olmadığı bilgisi ile kontrolleri gerçekleştirecek gümrük memuru için ön bilgi oluşacaktır. Bu sayede gözden kaçabilecek riskli ürünlerin kontrol edilmeme durumu azalacaktır. Çalışmanın sonucunda ise riskli durumların gözden kaçmasının olabildiğince engellendiği, standardize olmuş ve sürdürülebilir bir yapı oluşturulması sağlanacaktır. Bu da ithalatçıların gümrük kanunlarına daha fazla uymasını sağlayacak ve yapılan izleme ve denetimler sonucunda yakalanan ihlallerin ve bunları önlemek için yapılacak politika değişikliklerinin sayısı azalacaktır.

Çalışmanın sonraki bölümlerinde takip edecek adımlar şu şekildedir: İkinci bölümde probleme ait modelin geliştirilmesinde kullanılacak olan metotlar anlatılacaktır. Üçüncü bölümde probleme ait detaylar sunulacaktır; veri seti, belirlenen yöntemlerin veri setine uygulanması ve nümerik çıktılar verilecektir. Son bölümde ise belirlenen yöntemler için sonuçlar ve değerlendirmeler sunulacaktır.

## 2. Teorik Metot

Yapılan bu çalışmada gümrük kapılarından yapılan geçişlerin riskli olup olmadığı konusunda bir ön bilginin oluşturularak gümrük memuruna sunulması amaçlanmaktadır. Problemin amacından da anlaşılacağı üzere problem bir sınıflandırma problemidir. Bu problemin çözülebilmesi ve gümrük memuruna doğruya yakın bilginin sunulabilmesi için en uygun modelin belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda modellerin oluşturulmasında makine öğrenmesi yöntemleri ve yapay sinir ağlarından faydalanılacaktır.

Makine öğrenmesi temelde gözetimli ve gözetimsiz öğrenme olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Witten ve ark., 2013). Öğrenme yöntemlerinin gözetimli ve gözetimsiz olarak ikiye ayrılması, veri setinde yer alan ve bağımlı değişken olarak adlandırılan bir çıktı değerinin olup olmaması ile ilgilidir: (i) Eğer veri setinde bağımlı değişken,  $y$ , varsa *gözetimli öğrenme* ve (ii) veri setinde bağımlı değişken yoksa *gözetimsiz öğrenme* olarak adlandırılır. Bu ayrım ve kullanılan yöntemler Şekil 3'te özetlenmiştir. Regresyon ve tahminleme işlemi sürekli yapıya sahip olan bağımlı değişkenin tahmin edilmesi için kullanılırken sınıflandırma işlemi ise adından da belli olduğu gibi kesikli yapıya sahip olan bağımlı değişken kullanılarak verilerin sınıflandırılması işlemi kapsamaktadır. Gözetimsiz öğrenme başlığı altında yer alan kümeleme ise benzer özelliklere sahip olan bağımsız değişkenlerin bir araya gelmesi ile gruplandırma süreçlerini kapsamaktadır (Witten ve ark., 2013).



Şekil 3. Makine öğrenmesi tekniklerinin sınıflandırılması.

Bu çalışma, gümrük kapılarında yapılan geçişlerin riskli ya da risksiz olmalarına göre Şekil 3'te yer alan yöntemler kullanılarak sınıflandırılmalarına dayanmaktadır. Bu doğrultuda, gözetimli öğrenme başlığı altında yer alan sınıflandırma yöntemlerinden k-en yakın komşu, lojistik regresyon, naif Bayes, karar ağacı sınıflandırması, destek vektör sınıflandırması ve rassal orman yöntemleri kullanılacaktır. K-en yakın komşu (k-NN), sınıflandırma ve regresyon tahmini gerektiren konulara uygulanabilen denetimli bir makine öğrenme tekniğidir (Xiong ve Yao, 2021). En yakın komşu sayısı girdi olarak verilir ve uzaklığa göre sınıflandırma yapılır. Lojistik regresyon, olasılığa göre her bir bağımsız değişkenin istatistiksel önemini ölçmek için kullanılır. Bir sınıflandırma algoritması olarak büyük ölçüde olasılığa bağlıdır. Binom çıktı modelleyen güçlü bir makine öğrenmesi metodudur (Shah ve ark., 2020). Naif Bayes yöntemi ise, Bayes teoremine dayanan ve olasılıksal sınıflandırma yöntemi olarak adlandırılan yöntemlerden biridir (Aborisade ve Anwar, 2018). Naif varsayımı sınıf değişkenininin değeri verilen her özellik çifti arasında koşullu bağımsızlık varsayımına dayanmaktadır. Diğer karmaşık yöntemlere göre kullanımı daha kolay ve anlaşılır olması ve daha hızlı sonuçlar vermesi sebebiyle tercih edilen bir algoritmadır (Stephens ve ark., 2018). Karar ağacı sınıflandırma yöntemi, karar ağacı yapısını sınıflandırma için kullanan bir yöntemdir: Her düğüm bir özelliği, her dal bir kuralı ve her yaprak bir sonucu gösterir (Jadhav ve Channe, 2016). Karar ağaçları hiyerarşik bir yapıya sahiptir. Veri setinin küçük yapılara bölünmesi ile geliştirilir. Destek vektör sınıflandırması verileri birden çok sınıftan ayırmak için hiper düzlemler oluşturan, iyi bilinen bir makine öğrenme algoritmasıdır (Dong, 2022). Diğer sınıflandırma algoritmalarından farklı olarak oluşturulan kümeler arasındaki mesafeyi maksimize etmeye çalışmaktadır. Noktaların doğru veya düzlem ile ayrılması ve bu ayırım sonucunda ortaya çıkan mesafeyi dikkate almaktadır. Daha çok küçük ve orta büyüklükteki veri setleri için uygundur. Rassal orman algoritmasında ise birlikte çalışan çok sayıda karar ağacı oluşturulur ve tahmin için tüm ağaçların ortalaması kullanılır (Shah ve ark., 2020). Bu yapı, karar ağacı algoritma sonuçlarına göre daha tutarlı sonuçların elde edilmesini sağlar (Witten ve ark., 2013).

Yapay sinir ağlarının korelasyon tabanlı modellere göre avantajlarından biri büyük veri setini işleyebilmede daha yetenekli olmasıdır. Bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki karmaşık doğrusal olmayan ilişkileri dolaylı olarak tespit etme kabiliyetine sahiptir (Pattanayak ve ark., 2021). Bu makalede makine öğrenmesi algoritmalarından sonra yapay sinir ağı uygulaması yapılacaktır. İnsan beyninin çalışma yapısından esinlenilerek oluşturulan bu yöntemde girdiler sırasıyla katmanlardan geçerek çıktı oluşmaktadır. Her bir katman nöronlardan oluşmakta ve buradan çıkan değerler aktivasyon fonksiyonundan geçerek elde edilmektedir.

Oluşturulan bu modellerden en iyi yöntemin seçilebilmesi için yöntemlerin performans göstergeleri kullanılarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Kullanılan yöntemlerin belirlenmesinde olduğu gibi performans göstergelerinin de kullanılacak yöntemlere uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Bağımlı değişkenin yapısına bağlı olarak performans göstergeleri farklılık göstermektedir. Eğer ulaşılmaya çalışılan  $y$  değeri, kullanılan regresyon yöntemleri ile tahmin edilmeye çalışılıyorsa yani  $y$  değeri sürekli bir forma sahipse hata değerini hesaplamak için  $R^2$ , ortalama kare hatası (mean squared error-MSE) gibi performans göstergeleri kullanılmaktadır. Eğer  $y$  değişkeni kesikli bir yapıya sahipse, bu sefer modelin doğruluğu, kesinliği gibi performans göstergelerine bakılmaktadır. Bu çalışmada kullanılacak olan veri seti incelendiği zaman  $y$  değişkeninin mevcudiyeti ve bu değişkenin 0 ya da 1 değerlerini alacak şekilde kesikli bir yapıya sahip olması nedeniyle performans göstergesi olarak *doğruluk oranı* (accuracy), *kesinlik değeri* (precision), *duyarlılık değeri* (recall) ve *F1-Skoru* kullanılacaktır. Bu performans göstergelerinin hesaplanması için Tablo 1’de yer alan *karişıklık matrisi* kullanılmaktadır. Karişıklık matrisi sınıflandırma sonucunda elde edilen değerlerin doğru ya da yanlış tahmin edilmesine göre oluşturulmaktadır. Bu matriste yer alan bilgiler Tablo 2’de yer aldığı şekilde kullanılarak ilgili performans göstergeleri hesaplanmaktadır (Alan ve Karabatak, 2020). Bu tablo, “Gösterge” sütunu başlığı altında sunulan performans göstergelerinin açıklamalarını ve nasıl elde edildiklerini vermektedir. Performans göstergelerine ait bilgiler, tabloda “Açıklama” sütununda yer alırken, performans göstergelerine ait matematiksel hesaplamalar “Formülasyon” sütunu altında verilmektedir.

**Tablo 1.** Karişıklık matrisi.

Gerçekleşen Değerler	Tahmin Değerleri	
	Doğru Pozitifler (DP)	Yanlış Negatifler (YN)
Yanlış Pozitifler (YP)	Doğru Negatifler (DN)	

**Tablo 2.** Sınıflandırma için kullanılan performans göstergeleri.

Gösterge	Açıklama	Formülasyon
Doğruluk Oranı	Doğru olarak sınıflandırılan örneklerin yüzdesini göstermektedir.	$Doğruluk = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN}$
Kesinlik Değeri	Pozitif olarak tahminlenen değerlerin gerçekten kaç adedinin doğru pozitif olduğunu göstermektedir.	$Kesinlik = \frac{DP}{DP + YP}$
Duyarlılık Değeri	Pozitif olarak tahmin edilmesi gereken işlemlerin ne kadarının pozitif olarak tahmin edildiğini gösteren performans göstergesidir.	$Duyarlılık = \frac{DP}{DP + YN}$
F1 Skoru	Testin doğruluğunun ölçüsüdür. Kesinlik ve duyarlılığın harmonik ortalaması şeklinde hesaplanmaktadır.	$F1 Skoru = 2 * \frac{Duyarlılık * Kesinlik}{Duyarlılık + Kesinlik}$

Bir sonraki bölümde yukarıda anlatılan yöntemler ile oluşturulan modeller, verilen performans göstergelerine göre değerlendirilerek mevcut veri seti için en uygun yöntemin belirlenmesi sağlanacaktır. Böylece geçişlerin riskli olup olmadığı değerlendirilecektir.

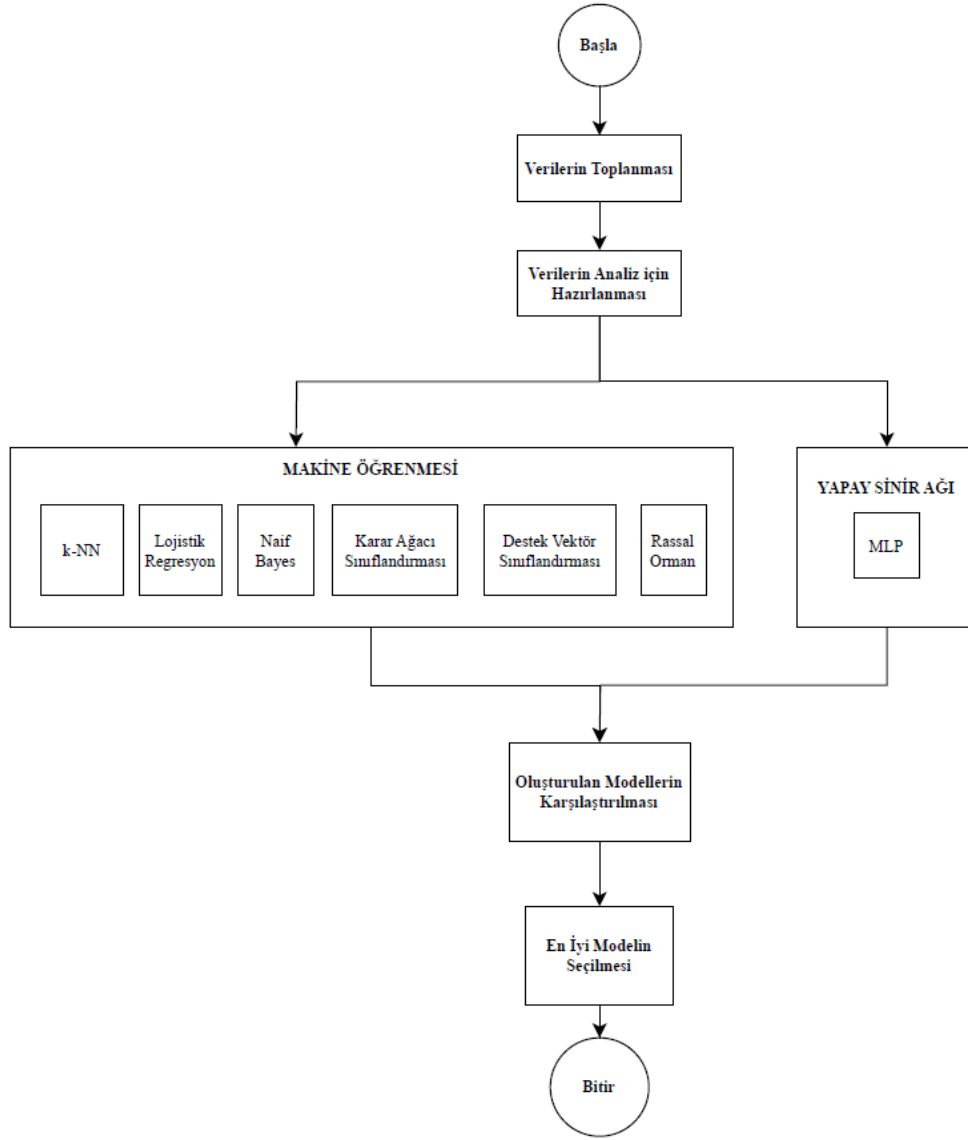
### 3. Uygulama: Gümrükte Riskli Geçişlerin Belirlenmesi

Gümrük süreçlerinde yapılan kontrol işlemleri sarı hat olarak adlandırılan kontrol noktalarında memurların değerlendirmesi doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. Ayrıca kontrol sürecinde günün şartlarına ve mevzuata göre değişiklikleri tespit edebilen riske dayalı bir denetleme sistemi bulunmamaktadır. Kontrol eden kişiye bağlı olan bu süreçte gözden kaçabilen kontroller, ithalat politikalarının ihmal edilmesine, güvenlik sorunlarına, vergi kaçakçılığına ve haksız kazançlara sebebiyet verebilmektedir. İhlaller devam ettiği sürece devamlı politika değişikliğine gidilmesi gerekmekte ve bu durum ülkeler açısından maddi ve manevi kayıplara neden olmaktadır. Kişiye bağımlı olarak devam eden kontrol süreçlerinin otomatize edilerek bir standart oluşturulması hem güvenlik açısından fayda sağlayacak hem de ithalatçıların haksız kazanç ve rekabet avantajı kazanmalarını engellemiş olacaktır. Bu doğrultuda çalışmanın bu kısmında öncelikle kullanılacak veriler hakkında bilgi verilecek sonrasında ise en uygun modelin seçilmesi için yapılan analizler ve elde edilen sonuçlar sunulacaktır. Bu kapsamda Şekil 4'te yer alan akış diyagramındaki süreç takip edilecektir. Öncelikle verilerin incelenmesi ve analiz için hazırlanması süreçlerine yer verilecektir. Sonrasında ise makine öğrenmesi yöntemlerinden olan k-NN, lojistik regresyon, naif Bayes, karar ağacı sınıflandırması, destek vektör sınıflandırması ve rassal orman algoritması ile yapay sinir ağlarına ait model karşılaştırılarak problem için en uygun yöntemin belirlenmesi sağlanacaktır.



### 3.1. Veri Seti ve Verinin Analizler için Hazırlanması

Gümrük kapılarında geçişlerin riskli olup olmadığını belirlenmesi amacıyla en uygun sınıflandırma algoritmasının belirlenmesi için tescil numarası (geçiş yapılacak ürünlere ait belgenin tescil edilme numarası), tescil tarihi (belgenin tescil edildiği tarih), alıcı (ülkede hangi kişi/kurumun alacağı bilgisi), sevk edildiği ülke (ürünün ulaşacağı son noktanın ülke bilgisi), menşei ülke (ürünün geldiği ülke), gümrük GTİP (ürünün uluslararası olarak sınıflandırılabilmesini sağlayan 12'li koda ait ürün kodu), toplam ürün miktarı, ürünün toplam kıymeti, ürün birim fiyatı ve işçi sayısı (ürünü gönderen kurumda çalışan kişi sayısı) değişkenlerinin yer aldığı veri seti kullanılmıştır. Toplam 10 değişkenin yer aldığı veri seti 201.572 gözlem değerinden oluşmaktadır.



Şekil 4. Geçişlerin riskli olup olmadığının belirlenmesi için kullanılacak olan modelin elde edilmesinde kullanılan akış diyagramı.

Veri setinin analizlere uygun hale gelmesi için aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

1. Veri setinde yer alan eksik veriler incelenmiştir. İşçi sayısı değişkeninde eksik değerler tespit edilerek, bu satırlar veri setinden çıkarılmıştır.
2. Veri seti yalnızca bağımsız değişkenlerden oluşmaktadır. Sınıflandırma işleminin yapılabilmesi için bağımlı değişken olan  $y$  değişkenine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda Tablo 3 ve Tablo 4'teki dönüşümler kullanılarak her bir geçiş için risk değeri oluşturulmuştur. Bu tablolar uzmanlardan alınan bilgiler kullanılarak elde edilmiştir. Her bir gözlem değerine tablodaki değerler uygun şekilde atanmış ve menşei ülke, birim fiyat, toplam miktar ve işçi sayısı değişkenlerinden elde edilen dört risk değeri toplanarak ilgili gözlem değeri için toplam risk değeri oluşturulmuştur.

**Tablo 3.** Bağımlı değişkenin oluşturulmasında kullanılacak olan dönüşümler.

Sıra	Menşei Ülke		Birim Fiyat	
	Seviye	Risk Değeri	Seviye	Risk Değeri
1	Yüksek Riskli	100	0-5	100
2	Riskli	50	5-10	75
3	Risksiz	0	10-15	50
4	-	-	15>	0

**Tablo 4.** Bağımlı değişkenin oluşturulmasında kullanılacak olan dönüşümler.

Sıra	Toplam Miktar		İşçi Sayısı	
	Seviye	Risk Değeri	Seviye	Risk Değeri
1	1-250	50	0-10	100
2	251-500	75	11-25	50
3	500>	100	25>	0

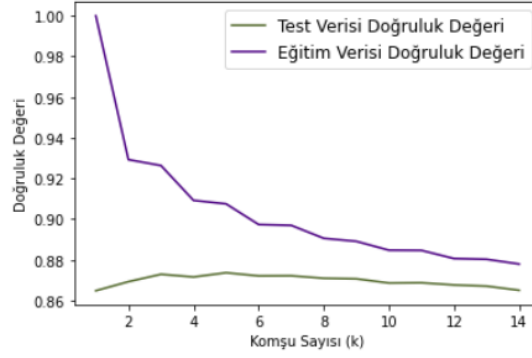
3. Tüm gözlem değerleri için toplam risk puanı hesaplandıktan sonra, risk puanlarına göre 0 (risksiz geçiş) ya da 1 (riskli geçiş) ataması yapılmıştır. Bu atamanın yapılabilmesi için toplam risk bağımlı değişkenine ait çeyreklik dilimleri kullanılmıştır. Çeyreklik dilimler, veri setinin küçükten büyüğe sıralandıktan sonra dörde bölünmesiyle oluşturulmaktadır. İlk çeyrek verinin %25'lik kısmına denk gelmektedir. Üçüncü çeyrek olarak adlandırılan kısım sıralanmış verinin %75'lik kısmını içermektedir ve bağımlı değişkenin oluşturulması için eşik değer olarak belirlenmiştir. 225'e karşılık gelen eşik değerinden yüksek risk puanına sahip gözlem değerlerine 1 ataması yapılarak geçişler riskli olarak değerlendirilmiştir. Böylece ikili yapıya sahip bağımlı değişken,  $y$ , elde edilmiştir.
4. Bağımlı değişken oluşturulduktan sonra veri setindeki aykırı (outlier) değerler analiz edilmiş, birim fiyat değişkenindeki aykırı değerler veri setinden uzaklaştırılmıştır.

5. Son olarak bağımsız değişkenler arasındaki korelasyon incelenerek ilişkili olan değişkenler belirlenmiştir. Aralarında korelasyon olan değişkenler, uzman görüşleri alınarak veri setinden çıkarılmıştır. Bu işlem sonucunda *alıcı*, *GTİP*, *toplam miktar*, *birim fiyat* ve *işçi sayısından* oluşan bağımsız değişkenler ve bağımlı değişken olan *risk durumunu* kapsayan 164.282 satırlık veri seti analizlere hazır hale getirilmiştir.
6. Veri seti oluşturulduktan sonra, öncelikle minimum-maksimum ölçeği (veri setinde yer alan her bir değişken içinde yer alan değerlerin [0,1] arasında olacak şekilde ölçeklendirilmesi) kullanılarak ölçeklendirme işlemi yapılmıştır.
7. Sonrasında modelin eğitilmesi için veri setinin %80'i eğitim seti ve test edilebilmesi için veri setinin %20'si test seti olarak ayrıştırılmıştır (Akbiyık ve Arı, 2022).

### 3.2. Modellerin Oluşturulması ve Elde Edilen Sonuçlar

Çalışmanın bu kısmında makine öğrenmesi başlığı altında incelediğimiz k-NN, lojistik regresyon, naif Bayes, karar ağacı sınıflandırması, destek vektör sınıflandırması ve rassal orman algoritması sonuçları ve yapay sinir ağları kapsamında incelenen çok katmanlı algılayıcı (multi-layer perceptron, MLP) modeline ait sonuçlar sırasıyla sunulacaktır. Bahsedilen modeller python programlama dili kullanılarak python paketleri ile oluşturulmuştur. Python paketleri scikit-learn tarafından sunulan makine öğrenmesi sınıflandırma algoritmalarını (sırasıyla NearestNeighbors, LogisticRegression, GaussianNB, DecisionTreeClassifier, svm ve RandomForestClassifier) ve MLP algoritmasını içermektedir. Oluşturulan modeller, Intel® Core™ i5-10210U CPU işlemcili 8 GB RAM ve 64 bit işletim sistemi özelliklerine sahip bilgisayar kullanılarak çalıştırılmıştır.

k-NN yönteminde  $k$  olarak ifade edilen komşuluk sayısının belirlenmesi gerekmektedir ve bu işlem için en çok tercih edilen yöntemlerden biri *dirsek grafiği* olarak adlandırılan yöntemdir. Şekil 5'te k-NN için oluşturulan dirsek grafiği yer almaktadır. Eğitim ve test hata değerlerinin azalmaya başladığı ve her ikisinin kabul edilebilir seviyede doğruluk değeri aldığı nokta, modele uygulanabilecek  $k$  adet yakın komşu sayısını göstermektedir (Witten ve ark., 2013; Alpaydin, 2020). Bu doğrultuda  $k$  değeri 6 olarak seçilmiştir.



Şekil 5. K-NN yöntemine ait dirsek grafiği.

k-NN algoritması için komşuluk sayısı belirlendikten sonra bu algoritma için çalıştırılan fonksiyonda yer alan farklı metrik değerleri kullanılarak modeller oluşturulmuştur. Bu kapsamda k-NN yönteminde en yakın komşuların hesaplanması için iki farklı algoritma kullanılmıştır: “auto (var olan verilere göre en uygun yöntemin seçilmesini sağlayan parametre değeri)” ve “ball\_tree (eğitim verilerinin çoklu dairesel bloklara bölünmesi ve test verileri için mesafelerin tüm veriler yerine sadece bu bloklar içinde hesaplanır)”. Komşular arasında mesafeyi hesaplamak için “Minkowski” ve “Öklid” uzaklık hesaplama fonksiyonları kullanılmıştır. Son olarak bu yöntem için ağırlık parametresinde “mesafelerin tersi ile ağırlık noktaları (distance)” ve “eşit ağırlıklar (uniform)” metrikleri kullanılmıştır. Her parametre kullanılarak k-NN algoritması için farklı modeller oluşturulmuştur. Oluşturulan bu modellerden eğitim verisinde en iyi performansı veren modele ait çıktılar Tablo 5’te sunulmuştur. Model başlığı altında modeli oluşturmak için kullanılan parametrelerin neler olduğu belirtilmiştir. Diğer yöntemler açıklanırken Tablo 5’te yer aldığı şekilde o yöntem için en iyi modele ait çıktıların tüm yöntemler açıklandıktan sonra özet tablo olarak Tablo 6 şeklinde verileceğini hatırlatmak isteriz.

**Tablo 5.** k-NN modelinin test verisine ait performans göstergesi sonuçları ( $k = 6$ ).

Model \ Performans Göstergesi	Doğruluk	Duyarlılık	Kesinlik	F1-Skoru
Model (Algoritma = “auto”, metrik = “Minkowski”, ağırlık = “distance”)	%87,87	%87,87	%87,61	%88

Kullanılan bir diğer yöntem ise lojistik regresyondur. Bu yöntemin uygulaması aşamasında ceza parametresine ait farklı metrikler kullanılmıştır. Bu doğrultuda “12” bu parametrenin yer almadığı “none” metriği kullanılarak iki model oluşturulmuş ve eğitim veri setinde en iyi sonucu veren modelin ceza parametresi verilmeyen model olduğu görülmüştür. Lojistik regresyona benzer şekilde naif Bayes yönteminde de ceza parametresinde değişik metrikler kullanılmış ve en iyi sonuçlar “none” metriği ile elde edilmiştir. Karar ağacı sınıflandırmasında ise lojistik regresyon ve naif Bayes yöntemlerinden farklı olarak birden fazla parametre için farklı metrikler kullanılmıştır. Bu doğrultuda

ayırma kalitesini ölçmek için için “gini” ve “entropy” metrikleri kullanılmıştır. Her iki parametre de sınıfların nasıl bölündüğünü değerlendirmek için kullanılmaktadır. Karar ağacında yer alması istenen maksimum değişken sayısını belirtmek için kullanılan bileşen için de “none”, “auto”, “sqrt” ve “log2” metrikleri kullanılmıştır. Modeller için elde edilen performans göstergelerine göre eğitim verisi için en iyi sonuçlar, ayırma amacıyla “entropy” metriğinin kullanıldığı ve maksimum değişken sayısının “none” olarak belirtildiği modelde elde edilmiştir. Destek vektör sınıflandırmasında ise oluşturulacak olan kümeler arasında bir doğrunun oluşturulması ve bu oluşturulan doğru mesafesinin sınıflar arasında olabildiğince maksimum olması sağlanmaya çalışılmaktadır. Bu kapsamda kernel tipinin “rbf”, “linear”, “poly” ve “sigmoid” olarak farklılaştırıldığı modeller oluşturulmuştur. Burada bahsedilen kernel, verilerin doğrusal yapıda olmayan sistemlerin hiper düzlem kullanılarak sınıflandırılmasında kullanılan isimdir ve bu parametre ile sınıflandırmada kullanılacak olan yöntemin belirtilmesi sağlamaktadır. Bu parametredeki değişime sınıfların ağırlıklarının da değiştirilmesi eklenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre mevcut veri seti için en iyi sonuçlar “rbf” kernel fonksiyonunun sınıflarda ağırlık kullanılmadan oluşturulması ile elde edilmiştir. Burada bahsedilen “rbf”, radyal temel fonksiyonunun (radial basis function) kısaltması olarak kullanılmaktadır ve noktaların hangi kümeye ait olduğunun belirlenmesinde normal dağılımdan faydalanmaktadır. Destek vektör sınıflandırma yöntemi genellikle küçük ve orta büyüklükte veriler için daha iyi sonuçlar vermektedir (Li ve Yu, 2011). Yapılan çalışmada büyük bir veri seti kullanılmasından dolayı diğer yöntemlere kıyasla performans göstergeleri açısından eğitim veri setinde daha kötü sonuçlar elde edilmiştir. Makine öğrenmesi başlığı altında incelenen son yöntem olan rassal orman tekniği ise birden fazla karar ağacının aynı anda çalıştırılıp ortalamasının elde edilmesi ile oluşmaktadır (Shah ve ark., 2020). Bu yöntemde ormandaki ağaç sayısı ( $n$ ), ayırmanın kalitesini ölçen fonksiyon ve sınıfların ağırlıkları ile ilgili farklı parametre değerleri değiştirilerek modeller oluşturulmuştur. Bu değişiklikler ile oluşturulan en iyi model, tahminleyici sayısının 1000, ayırma yönteminin “entropy” olduğu ve ağaç derinliğinin üç olarak ifade edildiği ağırlıksız sınıflı modelde elde edilmiştir.

Yapay sinir ağları temelde beş bölümden oluşmaktadır: Girdiler, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılar (Gardner ve Dorling, 1998). Ağırlıklar, toplama fonksiyonu ve aktivasyon fonksiyonu kısmında yer alan parametrelerin değiştirilmesi ile farklı modeller oluşturulabilmektedir. Böylece veri seti için en uygun yapay sinir ağı modeli belirlenebilmektedir. Python’da MLP modeli oluşturulabilmesi için en yaygın kullanılan kütüphaneler tensorflow ve keras’tır. Bu kütüphaneler kullanılarak yapay sinir ağı modelleri kurulmuş ve MLP modelinde yer alan aktivasyon fonksiyonu, hücre sayısı, katman sayısı, epoch sayısı, parti boyutu, doğrulama ayırımı, en iyileme motoru, kayıp parametreleri değiştirilmiştir. Yapılan işlemler sonucunda en iyi sonucun “adam” en iyileme motoru ile “aktivasyon fonksiyonu =

relu, relu, relu, sigmoid”, “katman sayısı = 3”, “epoch = 100”, “nod sayıları = 16, 64, 64, 1” metrikleri kullanılarak elde edilmiştir.

Yedi farklı yöntem kullanılarak gümrük noktalarındaki geçişlerin riskli ya da risksiz şekilde sınıflandırılması için oluşturulan modellere ait sonuçlar ise Tablo 6’da yer almaktadır. Her bir yöntem için oluşturulan modellerden en iyi sonucun elde edildiği modellere ait bilgilerin yer aldığı Tablo 6 aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

**Tablo 6.** Yöntemler için elde edilen sonuçlara ait en iyi modellerin yer aldığı özet tablo.

Yöntem	Model \ Performans Göstergesi	Doğruluk	Duyarlılık	Kesinlik	F1-Skoru
k-NN	algoritma = “auto”, metrik = “Minkowski”, ağırlık = “distance”	%87,87	%87,87	%87,61	%88
Lojistik Regresyon	ceza = none	%78,08	%78,08	%76,33	%76
Naif Bayes	ceza= none	%74,81	%74,81	%73,18	%67
<b>Karar Ağacı Sınıflandırması</b>	<b>critierion= entropy, max_features=none</b>	<b>%93,43</b>	<b>%93,43</b>	<b>%93,41</b>	<b>%93</b>
Destek Vektör Sınıflandırması	kernel = rbf, class_weight = None	%80,57	%80,57	%79,79	%80
Rassal Orman	n_estimators=1000, criterion = entropy, class_weight= None, max_depth = 3	%84,31	%84,31	%83,94	%84
Yapay Sinir Ağı	Optimizer = adam, Aktivasyon Fonksiyonu = Relu, Relu, Relu, Sigmoid, Katman Sayısı = 3, Epochs = 100, Node Sayıları = 16, 64, 64, 1	%84,43	%85	%85	%85

Tablo 6’da yer alan değerler incelendiğinde oluşturulan modellere göre en kötü performansın naif Bayes ve sonrasında lojistik regresyon yöntemleriyle elde edildiği görülmektedir. En iyi performansın ise k-NN ve karar ağacı sınıflandırması yöntemlerinde elde edildiği gözlenmiştir. Ancak k-NN’deki test – eğitim verisi performans göstergelerinin karşılaştırılması yapıldığında k-NN algoritmasının karar ağacı yöntemine göre daha düşük performans gösterdiği görülmektedir. Bu durumda mevcut veri seti için en iyi yöntem karar ağacı sınıflandırması olarak ortaya çıkmaktadır. Buna ilaveten her model için elde edilen performans değerlerinin literatürde yer alan minimum kullanılabilirlik seviyesinin üstünde olduğunu ve her modelin karar verme amacıyla kullanılabileceğini söylenebilir. Makine öğrenmesi modellerinde bir modelin kullanılabilmesi için en az %60 tercihen %70’in üzerinde doğru tahmin yapma yeteneğine sahip olması gerekmektedir.

Modelin tahmin gücünün belirlenmesi için gümrük kapılarından yapılan geçişlere ait farklı veriler modele verilmiştir. Bu kapsamda veri setinden rassal olarak 10 veri seçilmiş (metin içinde gösterim kolaylığı olması nedeniyle 10 olarak seçilmiştir) ve sonrasında karar ağacı sınıflandırması modeli kullanılarak seçilen gözlem değerleri için bağımlı değişken olan riskli geçiş olup olmadığı kontrol edilmiştir. Bu doğrultuda elde edilen sonuçlar Tablo 7’de verilmiştir. Tabloda yer alan

“Gözlem” sütunu o gözlem değerinin veri setindeki sırasını göstermektedir. Bu değerlerin veri seti içinden rassal olarak seçildiği buradan takip edilebilmektedir. “Gerçek Bağımlı Değişken Değeri” sütunu veri setinde o gözlem değerinin sahip olduğu bağımlı değişken değerini gösteriyorken “Tahmini Bağımlı Değişken Değeri” sütunu ise gözlem değerine ait ilgili verilerin modele girilerek tahmin edilmesi sonucunda elde edilen model çıktısını ifade etmektedir.

**Tablo 7.** Seçilen model kullanılarak yapılan tahmin sonuçları.

Gözlem	Gerçek Bağımlı Değişken Değeri	Tahmini Bağımlı Değişken Değeri
155118	0	0
72894	0	0
93893	0	0
18860	1	1
11404	0	0
22704	1	0
171504	0	1
156312	0	0
30410	0	0
107111	0	0

Tablo 7’de yer alan değerler için karışıklık matrisi oluşturulduğunda yanlış pozitif ve yanlış negatif olarak adlandırılan ve bizim azaltmaya çalıştığımız değerlerin 1 olarak elde edildiği görülmektedir. Başka bir deyişle verilen örnek veri setinde 1 gözlem değeri gerçekte riskli bir geçiş olarak sınıflandırılmışken, model tarafından risksiz geçiş olarak değerlendirilmiştir. Aynı şekilde başka bir geçiş ise gerçekte riskli bir geçiş olarak sınıflandırılmamışken model riskli geçiş olarak adlandırmıştır.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Küreselleşen dünya ile birlikte ülkeler arasındaki hareketlilik artmış, ticaret süreçleri gelişmiş, hacim ve çeşitlilik artışı karşısında teknolojik gelişmelere de paralel olarak akıllı kontrol sistemleri kurulma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Ülkeler arasında mal giriş çıkışlarının kontrollerinin yapıldığı noktalar gümrük kapısı ya da hudut noktası olarak adlandırılmaktadır. Türkiye’de yer alan 203 gümrük kapısında da süreçlerdeki kontroller kırmızı hat, mavi hat ve sarı hat olarak ayrılan renk kodlarına göre devam etmektedir. Kırmızı hatlara gelen tüm ürünler fiziki kontrolden geçiyorken mavi hatlardan yapılan geçişlerde fiziki kontrol olmaksızın direkt geçiş sağlanmaktadır. Sarı hatlarda ise gümrük memurunun görüşlerine göre ürünler kontrol edilmekte ya da edilmemektedir. Ancak kişiye bağlı olan bu durumda riskli geçişlerin kontrol edilmeden geçme ihtimali az da olsa bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı gümrük süreçlerinde yapılacak geçişlerin riskli olup olmadığı hakkında bir bilginin oluşturularak gümrük memuruna kontrol öncesi ön bilginin verilmesini sağlayacak otomatize bir sistemin oluşturulmasıdır. Bu doğrultuda makine öğrenmesi yöntemleri olan

k-NN, lojistik regresyon, naif Bayes, karar ağacı sınıflandırması, destek vektör sınıflandırması ve rassal orman algoritması ve yapay sinir ağları kapsamında incelenen MLP yöntemi kullanılarak modeller oluşturulmuş ve doğruluk değeri, kesinlik değeri, duyarlılık ve F1-Skoru performans göstergelerine göre oluşturulan modeller karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre mevcut modeller arasında en iyi sınıflandırmanın karar ağacı sınıflandırması ile elde edildiği görülmüştür.

Bu çalışmada var olan değişkenler, makine öğrenmesi ve yapay sinir ağları kullanılarak oluşturulmuş ve bu alanda yapılan ilk çalışma olma özelliği göstermektedir. Sonraki çalışmalarda ise veri setinde yer alan değişkenler için değişken seçimi algoritmaları uygulanarak, kullanılan yöntemler geliştirilebilir.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



### **Kaynaklar**

- Aborisade, O., Anwar, M., (2018). Classification for Authorship of Tweets by Comparing Logistic Regression and Naive Bayes Classifiers. IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI), Salt Lake City, UT, USA, 2018, 269-276
- Akbıyık, A., & Arı, O. (2022). Lojistik Regresyon İle Faydalı Müşteri Yorumlarını Tahminleme. Journal of Research in Business, 7 (IMISC 2021 Special Issue), 15-32.
- Alan A., & Karabatak, M. (2020). Veri Seti-Sınıflandırma İlişkisinde Performansa Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 32(2), 531-540.
- Alpaydin, E. (2020). Introduction to machine learning. MIT press.
- Bauder, R. A., & Khoshgoftaar, T. M. (2017, December). Medicare fraud detection using machine learning methods. In 2017 16th IEEE international conference on machine learning and applications (ICMLA) (pp. 858-865). IEEE.
- Dong, S. (2022, January). Virtual currency price prediction based on segmented integrated learning. In 2022 IEEE 2nd International Conference on Power, Electronics and Computer Applications (ICPECA) (pp. 549-552). IEEE.
- Dornadula, V. N., & Geetha, S. (2019). Credit card fraud detection using machine learning algorithms. Procedia computer science, 165, 631-641.
- Gardner, M. W., & Dorling, S. R. (1998). Artificial neural networks (the multilayer perceptron) a review of applications in the atmospheric sciences. Atmospheric environment, 32(14-15), 2627-2636.



- Gümrük İşlemleri, Erişim Tarihi: 02.01.2023, <https://ticaret.gov.tr/gumruk-islemleri/sikca-sorulan-sorular/ticari/gumruk-islemleri>
- Hatıplı, M. (2011). Türkiye AB Gümrük Birliği Antlaşması ve Antlaşmanın Türkiye Ekonomisine Etkileri, Trakya Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 13(1), 14-32.
- Jadhav, S. D., & Channe, H. P. (2016). Comparative study of K-NN, naive Bayes and decision tree classification techniques. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 5(1), 1842-1845.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2013). *An introduction to statistical learning* (Vol. 112, p. 18). New York: springer.
- Johnson, J. M., & Khoshgoftaar, T. M. (2019). Medicare fraud detection using neural networks. *Journal of Big Data*, 6(1), 1-35.
- Li, X. ve Yu, W. (2011). Fast Support Vector Machine Classification for Large Data Sets. *International Journal of Computational Intelligence Systems* 7(2), 197-212.
- Maniraj, S. P., Saini, A., Ahmed, S., & Sarkar, S. (2019). Credit card fraud detection using machine learning and data science. *International Journal of Engineering Research*, 8(9), 110-115.
- Pattanayak, S., Loha, C., Hauchhum, L., Sailo, L. (2021). Application of MLP-ANN Models for Estimating the Higher Heating Value of Bamboo Biomass, *Biomass Conversion and Biorefinery* 11, 2499–2508.
- Perols, J. (2011). Financial statement fraud detection: An analysis of statistical and machine learning algorithms. *Auditing: A Journal of Practice & Theory*, 30(2), 19-50.
- Shah, K., Patel, H., Sanghvi, D., Shah, M., (2020). A Comparative Analysis of Logistic Regression, Random Forest and KNN Models for the Text Classification. *Augment Hum Res* 5, 12
- Stephens, C.R., Huerta, H.F. & Linares, A.R., (2018). When is the Naive Bayes approximation not so naive?. *Mach Learn* 107, 397–441.
- Thennakoon, A., Bhagyani, C., Premadasa, S., Mihiranga, S., & Kuruwitaarachchi, N. (2019, January). Real-time credit card fraud detection using machine learning. In *2019 9th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)* (pp. 488-493). IEEE.
- Türkiye'nin Sınır Kapıları (Gümrükler), Erişim Tarihi: 02.01.2023, <https://www.tarihselbilgi.com/sinir-kapilari/>
- Xiong L., Yao, Y. (2021). Study on an adaptive thermal comfort model with K-nearest-neighbors (KNN) algorithm. *Building and Environment*, 202,108026

## Metaverse'ün Disiplinlerarası Görünümü: Lisansüstü Tez Çalışmalarının Bibliyometrik Profili

Şükran DERTLİ<sup>1\*</sup>, Muhammet Emin DERTLİ<sup>2</sup>

### Öz

Bu araştırmanın temel amacı, metaverse konusuna yönelik yapılan lisansüstü tez çalışmalarının genel özelliklerini bibliyometrik analiz yöntemiyle belirleyerek literatüre katkı sağlamaktır. Bu bakımdan, Yöktez (Yüksek Öğretim Kurumu Tez Merkezi) veri tabanı üzerinden elde edilen tez çalışmaları çeşitli parametrelere göre bibliyometrik açıdan analiz edilmiştir. Bu çalışmada lisansüstü tezlerin akademik düzeylerine, yazarlarına, danışman ünvanlarına, başlıklarına, yayın dillerine, konularına, dizinlerine, bölüm başlıklarına, anahtar kelimelerine, yayın yıllarına, üniversitelerine, tezlerin yazıldığı illere, enstitülere, ana bilim dallarına, erişim durumlarına, sayfa sayılarına, modeline ve örnekleme göre dağılımına odaklanılmıştır. Araştırma sonuçları IBM SPSS Statistics 25.0 paket programında ve kelime bulutunda analiz edilmiştir. Elde edilen veriler ile frekans ve yüzde analizleri yapılmıştır. Yöktez veri tabanı gelişmiş arama üzerinden "metaverse" değişkeni kullanılarak arama yapıldığında 34'ü yüksek lisans, 4'ü doktora, 3'ü sanatta yeterlilik ve 1'i tıpta uzmanlık olmak üzere toplam 42 lisansüstü teze ulaşılmıştır. Araştırma kapsamında metaverse'ün yüksek lisans tezlerinde daha fazla merak uyandırdığı ve tez çalışmalarında metaverse teknolojisinin daha çok dijitalleşme ve sanal dünya ile ilişkilendirildiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla tüm bu durumlar metaverse'ün son yıllarda ilgi çekici bir konu olduğunu ortaya koymuştur. Aynı zamanda metaverse teknolojisinin niceliksel olarak yeterince ele alınmadığı literatürde eksiklikler olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen en belirgin sonuç, metaverse teknolojisinin disiplinlerarası bir çalışma konusu olduğudur.

**Anahtar Kelimeler:** Metaverse, Bibliyometri, Lisansüstü tez.

## Interdisciplinary View of Metaverse: Bibliometric Profile of Postgraduate Thesis Studies

### Abstract

The main purpose of this study is to contribute to the literature by determining the general characteristics of postgraduate thesis studies on metaverse through bibliometric analysis method. In this respect, thesis studies obtained from Yöktez (Higher Education Institution Thesis Centre) database were analysed bibliometrically according to various parameters. This study focuses on the distribution of postgraduate theses according to their academic levels, authors, supervisor titles, titles, publication languages, subjects, indexes, chapter titles, keywords, publication years, universities, provinces, institutes, main disciplines, access status, page numbers, model and sample. The research results were analysed in IBM SPSS Statistics 25.0 package programme and word cloud. Frequency and percentage analyses were made with the data obtained. A total of 42 postgraduate theses, 34 master's theses, 4 doctoral theses, 3 proficiency in art and 1 speciality in medicine, were reached through the advanced search of Yöktez database using the "metaverse" variable. Within the scope of the research, it was determined that metaverse aroused more curiosity in master's theses and metaverse technology was mostly associated with digitalisation and virtual world in thesis studies. Therefore, all these situations have revealed that the metaverse has been an interesting topic in recent years. At the same time, it has been determined that there are deficiencies in the literature where metaverse technology is not sufficiently addressed quantitatively. The most obvious conclusion from this study is that metaverse technology is an interdisciplinary subject of study.

**Keywords:** Metaverse, Bibliometrics, Graduate thesis.

<sup>1</sup>Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mühendislik Yönetimi, Bayburt, Türkiye, [sukrandertli25@gmail.com](mailto:sukrandertli25@gmail.com)

<sup>2</sup>Atatürk Üniversitesi, Horasan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri, Erzurum, Türkiye, [emindertli@atauni.edu.tr](mailto:emindertli@atauni.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

**Geliş/Received:** 13.10.2023

**Kabul/Accepted:** 22.04.2024

**Yayın/Published:** 18.06.2024

## 1. Giriş

Metaverse sanal evreni; dijital teknolojiye dayalı olarak farklı sektörlerle ve teknolojilerle etkin çalışma yöntemlerini araştırarak bilimin sınırlarını genişleten yeni bir faaliyet alanı olarak tanımlanmıştır (Dertli ve Dertli, 2023b, s. 63). Bilgi ve iletişim teknolojisinin gelişmesiyle birlikte metaverse teknolojisi giderek daha popüler hale gelmeye başlamıştır (Belli ve Dertli, 2022, s. 445). Fakat bazı çalışmalarda metaverse teknolojisinin hem iletişim, etkileşim, eğlence gibi alanlarda avantaj sunduğunu hem de iletişim, etkileşim, eğlence gibi konularda da dezavantajlar sunduğunu öne sürmektedir (Dertli ve Dertli, 2023a, s. 33-34).

Bibliyometrik analiz konunun derinliğinin, yaygınlığının ve genel görünümünün ortaya çıkarılmasına katkısı sağlayan ve gün geçtikçe önem arz eden analiz yöntemlerinden biridir (Dertli ve Belli, 2023, s. 3). Bibliyometrik araştırmalar, literatürün farklı yönlerini görmeyi, çalışmaların yıllara göre eğilimlerini belirlemeyi kolaylaştırarak araştırmacıların çalışmalara hızlı erişimini kolaylandırmaktadır (Şengün ve Gerekten, 2023, s. 1-5). Bilimsel literatürdeki ilk niceliksel analiz yöntemi 1920-1940 yılları arasında matematiksel ve istatistiksel modellerle (Murathan ve ark., 2020, s. 160). 1970'li yıllardan itibaren ise iletişim, psikoloji ve zamanla sosyoloji, tarih gibi çeşitli alanlarda kullanılmaya başlamıştır. Özellikle bibliyometri analiz yöntemi; çalışmanın konusuyla ilgili teorik durumları, teorileri ve kavramları incelemeye katkı sağlamıştır (Yersüren ve Özel, 2020, s.1141-1144). Çelik ve ark., (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada; metaverse'ün pazarlama odaklı bir yaklaşımı öngörebilmek amacıyla 2021-2022 yılları arasında metaverse konusunu ele alan 11 çalışmanın bibliyometrik analizi gerçekleştirilmiştir. Kılınç ve ark., (2022) araştırmasında; 1996-2021 yılları arasında Web of Science veri tabanında yayınlanan engelli bireyler için tasarlanan sanal ortam konulu 147 çalışmanın bibliyometrik analizi gerçekleştirilmiştir. Karagöz Zeren (2022) çalışmasında; metaverse'ün turizm odaklı bir yaklaşımı öngörebilmek amacıyla 09.05.2022 tarihinde Web of Sciences, Scopus veri tabanlarında yayınlanan çalışmaların bibliyometrik analizi gerçekleştirilmiştir.

Uluslararası literatürde metaverse konusuna yönelik yapılan bibliyometrik çalışmalara ulaşmak için Web of Science veri tabanının gelişmiş taraması üzerinden başlık alanı seçilerek (TI=(metaverse) AND TI=(bibliometr\*)) taraması yapılması sonucunda toplam 17 araştırmaya ulaşılmıştır. Metaverse'e yönelik uluslararası literatürdeki bibliyometrik araştırmalardan;

- Damar and Koksalmis (2024) metaverse ve sağlık hizmetleri; Agac et al., (2023) metaverse ve sağlık eğitimi; Nguyen and Voznak (2024) metaverse, dijital sağlık ve sağlık yönetimi kavramlarını incelemiştir.

- Marcuta et al., (2023) metaverse, küresel ekonomi ve tarımı; Wider et al., (2023) metaverse'ün bilgi yapısı; Johri et al., (2024) metaverse ve sürdürülebilir kalkınma kavramlarını incelemişlerdir.

- Mehta et al., (2023) metaverse ve iş dünyası; Piñeiro-Chousa et al., (2024) metaverse, işletme ve yönetimi kavramlarını incelemişlerdir.

- Genel olarak metaverse'ün bibliyometrik analizi Abbate et al., (2022); Shen et al., (2023); Rejeb et al., (2023); Li and Li (2024); Feng et al., (2024) tarafından incelenmiştir.

- Metaverse ve eğitimin bibliyometrik analizi Tas and Bolat (2022); Tlili et al., (2022); Chen et al., (2023); Akhil et al., (2024) tarafından incelenmiştir.

Uluslararası literatürdeki tezlerde metaverse konusuna yönelik yapılan bibliyometrik çalışmalara ulaşmak için Web of Science veri tabanının belgeler bölümünde ProQuest™ Dissertations & Theses Citation Index alanı üzerinden başlık alanı seçilerek tarama yapılmıştır. Bu kapsamda (TI=(metaverse) AND TI=(bibliometr\*)) taraması yapılması sonucunda herhangi bir sonuca ulaşamadığı belirlenmiştir. Başlık alanında yalnızca TI=(metaverse) seçildiğinde ise 23 teze ulaşıldığı görülmüştür. Bu da uluslararası literatürdeki tezlerde metaverse konusuna yönelik bibliyometrik çalışmaların yapılmadığını ortaya koymuştur.

İlgili literatür incelendiğinde metaverse teknolojisini ele alan makalelerin bibliyometrik analizinin gerçekleştirilmesine rağmen metaverse'ü ele alan lisansüstü tez çalışmalarının bibliyometrik analizinin gerçekleştirilmediği görülmektedir. Buradan hareketle bu araştırmanın temel amacı, metaverse konusunda yapılan Yöktez veri tabanındaki lisansüstü tez çalışmalarının genel özelliklerini belirleyerek literatüre katkı sağlamaktır. Dolayısıyla bu araştırma metaverse teknolojisinin lisansüstü tezlerindeki disiplinlerarası görünümünün bibliyometri bakış açısıyla ortaya koyabilmesine yönelik yapılan özgün bir çalışma olmasından dolayı önem arz etmektedir. Araştırmanın bu yönü ile metaverse sanal evrenine yönelik çalışma yapmayı planlayan araştırmacılara rehberlik ederek akademik anlamda katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada 13.02.2023-19.05.2023 tarihleri arasında Yöktez veri tabanının tarama bölümünde "metaverse" kelimesi ile gelişmiş tarama yapılmış, bu tarihten sonra sisteme yüklenen tezler Sayiner (2023) çalışmasında olduğu gibi bu çalışmanın da kapsamına dahil edilmemiştir.

Bu çalışmada doküman incelemesi yoluyla elde edilen veriler Akkaşoğlu ve ark., (2019); Özispa ve Akdaş (2019); Dertli (2021); Gazelci ve Aksoy (2024); Gök ve Öztürk (2024)'ün araştırmalarında olduğu gibi nitel araştırma yöntemlerinden biri olan bibliyometrik analiz yöntemi

kullanılarak çözümlenmiştir. Bu bakımdan Yöktez veri tabanından elde edilen lisansüstü tezler çeşitli parametrelere göre bibliyometri bakış açısıyla incelenmiştir.

Araştırmanın temel problemlerine yanıt aramak için “Metaverse’ün Disiplinlerarası Görünümü: Lisansüstü Tez Çalışmalarının Bibliyometrik Profili” başlıklı konu seçilmiştir. Bu bağlamda Dertli ve Dertli (2024) ile Dertli ve Belli (2023) çalışmalarında olduğu gibi araştırma kapsamında cevap aranan 19 soru aşağıda sunulmuştur:

1. Lisansüstü tezlerin akademik düzeylerine göre dağılımı nasıldır?
2. Lisansüstü tezlerin yazarlarına göre dağılımı nasıldır?
3. Lisansüstü tezlerin danışman ünvanlarına göre dağılımı nasıldır?
4. Lisansüstü tezlerin danışman sayılarına göre dağılımı nasıldır?
5. Lisansüstü tezlerin başlıklarına göre dağılımı nasıldır?
6. Lisansüstü tezlerin yayın diline göre dağılımı nasıldır?
7. Lisansüstü tezlerin konularına ve konu sayılarına göre dağılımı nasıldır?
8. Lisansüstü tezlerin dizinlerine göre dağılımı nasıldır?
9. Lisansüstü tezlerin bölüm başlıklarına göre dağılımı nasıldır?
10. Lisansüstü tezlerin anahtar kelimeleri-anahtar kelime sayılarına göre dağılımı nasıldır?
11. Lisansüstü tezlerin yıllara göre yayın sayısı değişimi nasıldır?
12. Lisansüstü tezlerin üniversitelerine göre dağılımı nasıldır?
13. Lisansüstü tezlerin yazıldığı illere göre dağılımı nasıldır?
14. Lisansüstü tezlerin enstitülerine göre dağılımı nasıldır?
15. Lisansüstü tezlerin anabilim dallarına göre dağılımı nasıldır?
16. Lisansüstü tezlerin erişim durumuna göre dağılımı nasıldır?
17. Lisansüstü tezlerin sayfa sayısına göre dağılımı nasıldır?
18. Lisansüstü tezlerin modeline göre dağılımı nasıldır?
19. Lisansüstü tezlerin örnekleme göre dağılımı nasıldır?

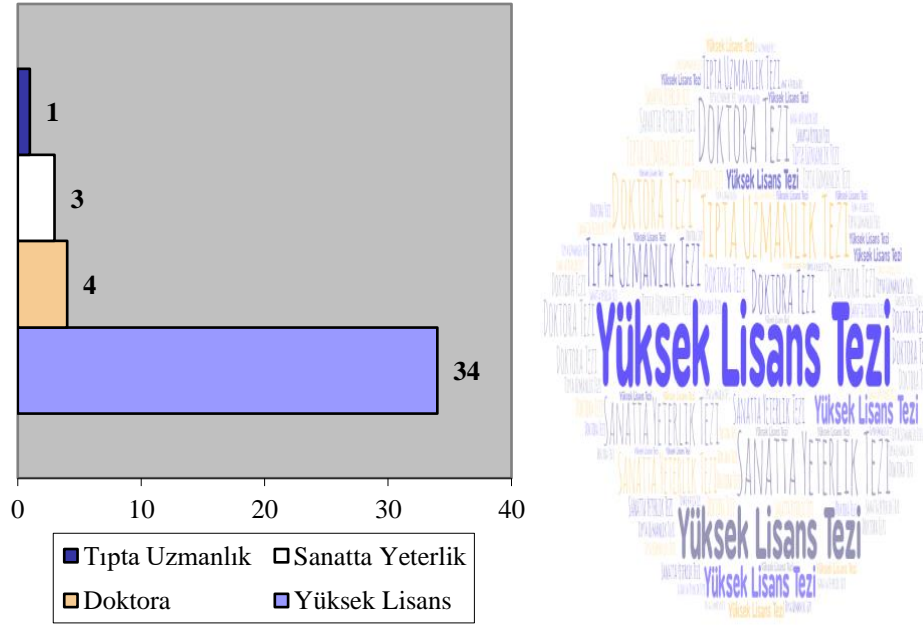
Sorularından elde edilen veriler IBM SPSS Statistics 25.0 paket programında, sankey diyagramında ve kelime bulutunda analiz edilerek tablo ve şekil halinde gösterilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, Yöktez veri tabanında yayınlanan metaverse konulu tez çalışmalarından elde edilen bulgulara yer verilmiştir.

### 3.1. Lisansüstü Tezlerin Akademik Düzeylerine Göre Dağılımı

Metaverse konusunun toplamda 42 tez çalışmasında ele alındığı belirlenmiştir. Bu bağlamda lisansüstü tezlerin türlerine göre dağılımları Şekil 1’de sunulmuştur.



Şekil 1. Tez çalışmalarının akademik düzeyleri.

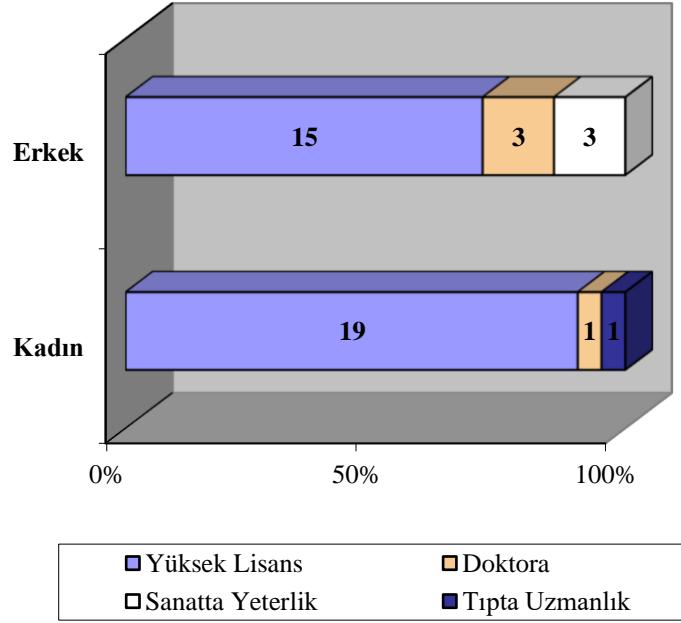
Şekil 1’de lisansüstü tez çalışmalarının 34’ünün %81 oranında yüksek lisans tezi, 4’ünün %9,5 oranında doktora tezi, 3’ünün %7,1 oranında sanatta yeterlik tezi ve 1’inin %2,4 oranında tıpta uzmanlık tezi olduğu görülmüştür. Bu durum metaverse konusunun en fazla yüksek lisans tezlerinde incelendiğini göstermiştir.

Delaysıyla güncel bir konu olan metaverse teknolojisiyle ilgili yayın farklılığın temeli iki şekilde açıklanabilir. Bunlardan ilki yüksek lisans eğitimi alan bireylerin sayısının diğer lisansüstü eğitime oranla daha fazla artması gösterilebilir. Diğer farklılık ise doktora tezlerinin diğer lisansüstü tezlerine oranla daha geniş ve uzun kapsamlı araştırmayı gerektirmesi olabilir.

Bu bakımdan doktora eğitiminin tamamlanma süresinin uzunluğuyla, metaverse konulu tez çalışmalarının düşük olmasına sebep olan bu etken ilişkilendirilebilir.

### 3.2. Lisansüstü Tezlerin Yazarlarına Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin yazarlarına göre dağılımları Şekil 2’de sunulmuştur.



Şekil 2. Tez çalışmalarının yazarları.

Şekil 2’de yüksek lisans tez çalışmalarının 19’unun %55,9 oranında kadın yazarlar, 15’inin %44,1 oranında erkek yazarlar tarafından hazırlandığı görülmüştür.

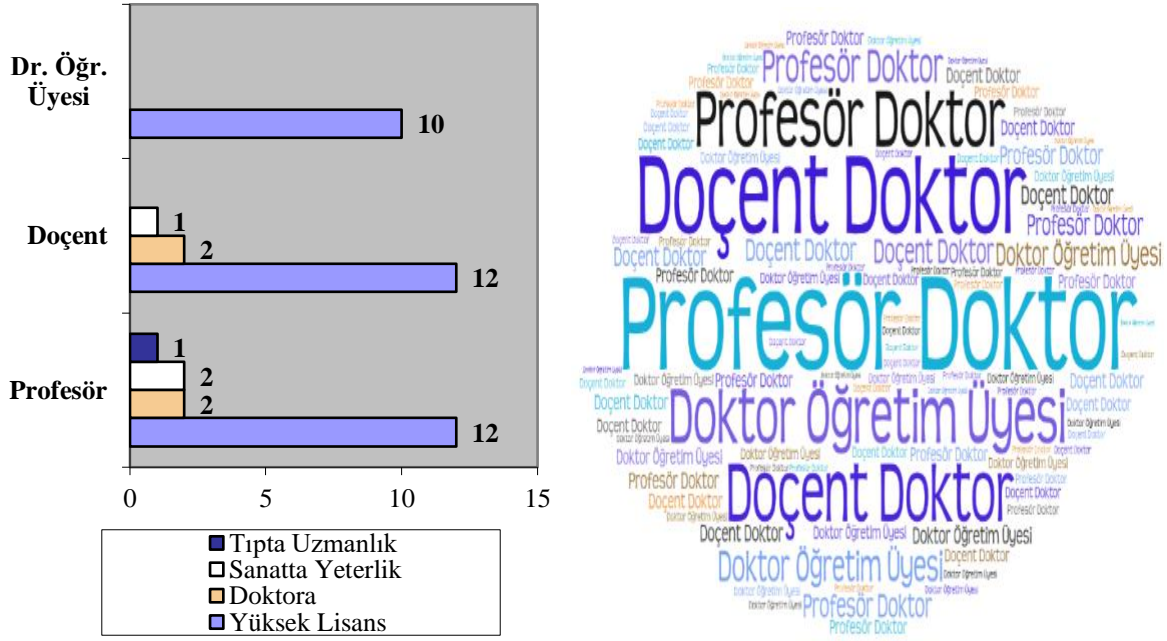
Doktora tez çalışmalarının 1’inin %25 oranında kadın yazarlar, 3’ünün %75 oranında erkek yazarlar tarafından araştırıldığı tespit edilmiştir.

Sanatta yeterlik tez çalışmalarının 3’ünün %100 oranında erkek yazarlar tarafından hazırlandığı görülmüştür.

Tıpta uzmanlık tez çalışmalarının 1’inin %100 oranında kadın yazarlar tarafından araştırıldığı belirlenmiştir. Dolayısıyla metaverse konusunu ele alan lisansüstü tez çalışmalarının cinsiyete göre farklılık göstermediği bulgusuna ulaşılmıştır.

### 3.3. Lisansüstü Tezlerin Danışman Ünvanlarına Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin danışman ünvanlarına göre dağılımları Şekil 3’te sunulmuştur



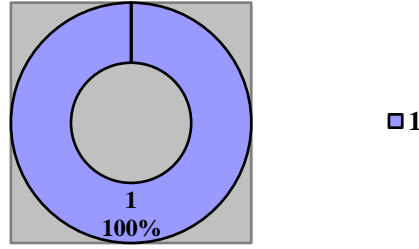
Şekil 3. Tez çalışmalarının danışman ünvanları.

Şekil 3'te yüksek lisans tez çalışmalarının 12'sinin %35,3 oranında Profesör Doktor, 12'sinin %35,3 oranında Doçent Doktor, 10'unun %29,4 oranında Doktor Öğretim Üyesi ünvanına sahip akademisyenlerin danışmanlığında hazırlandığı görülmüştür. Doktora tez çalışmalarının 2'sinin %50 oranında Profesör Doktor, 2'sinin %50 oranında Doçent Doktor ünvanına sahip akademisyenlerin danışmanlığında hazırlandığı tespit edilmiştir. Sanatta yeterlik tez çalışmalarının 2'sinin %66,7 oranında Profesör Doktor, 1'inin %33,3 oranında Doçent Doktor ünvanına sahip akademisyenlerin danışmanlığında hazırlandığı görülmüştür. Tıpta uzmanlık tez çalışmalarının 1'inin %100 oranında Profesör Doktor ünvanına sahip akademisyenin danışmanlığında hazırlandığı belirlenmiştir. Dolayısıyla metaverse konusunu ele alan lisansüstü tez çalışmalarının en fazla Profesör Doktor ünvanına sahip akademisyenlerin danışmanlığında gerçekleştirildiği bulgusuna ulaşılmıştır. Bu durum, Profesör doktor ünvanına sahip akademisyenlerin bilgi birikimi ile ilişkilendirilmiştir. Elde edilen bu ilişkiyi Boztepe (2024) akademik kariyer olgunluğuna ulaşan Profesör Doktor ünvanına sahip akademisyenlerin tez konularına daha fazla önem vermesiyle, Sayiner (2023) diğer ünvanlara göre daha yüksek olmasıyla, Öztürk ve Koç (2024) ise deneyimli akademisyenlerin rehberlik etmesiyle açıklamıştır.

### 3.4. Lisansüstü Tezlerin Danışman Sayılarına Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin danışman sayılarına göre dağılımları Şekil 4'te sunulmuştur





Şekil 4. Tez çalışmalarının danışman sayıları.

Şekil 4’te metaverse hakkında yapılan toplamda 42 tez çalışmasının tamamının 1 akademisyenin danışmanlığında hazırlandığı görülmüştür. Bu da bir danışmanın lisansüstü tezlere rehberlik edip yol gösterdiğini ortaya koymuştur.

### 3.5. Lisansüstü Tezlerin Başlıklarına Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin başlıklarına göre dağılımları Şekil 5’te sunulmuştur.



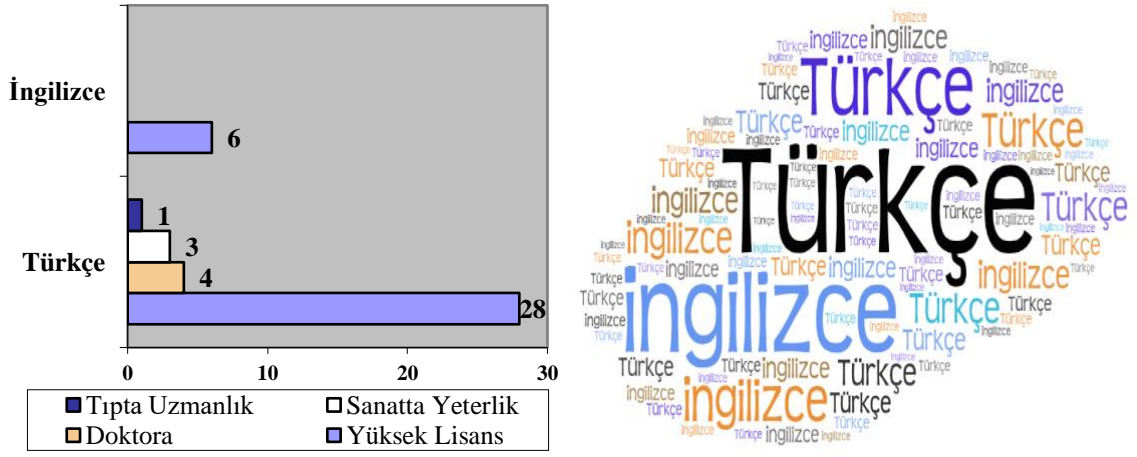
Şekil 5. Tez çalışmalarının başlıkları.

Şekil 5’te metaverse hakkında yapılan tez çalışmalarının başlıklarında en fazla “metaverse”, “sanal”, “gerçeklik”, “artırılmış”, “dijital”, “incelenmesi”, “örneği”, “boyutlu”, “çalışma”, “pazarlama”, “fırsatlar”, “model” kelimelerinin kullanıldığı görülmüştür. Dolayısıyla bu kelimelerin

metaverse teknolojisine ilişkin çalışma yapacak olan araştırmacılara yol göstereceği düşünülmektedir.

### 3.6. Lisansüstü Tezlerin Yayın Diline Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin yayın diline göre dağılımları Şekil 6'da sunulmuştur.



Şekil 6. Tez çalışmalarının yayın dilleri.

Şekil 6'da yüksek lisans tez çalışmalarının 28'inin %82,4 oranında Türkçe, 6'sının %17,6 oranında İngilizce hazırlandığı görülmüştür.

Doktora tez çalışmalarının 4'ünün %100 oranında Türkçe hazırlandığı tespit edilmiştir. Sanatta yeterlik tez çalışmalarının 3'ünün %100 oranında Türkçe hazırlandığı görülmüştür. Tıpta uzmanlık tez çalışmalarının 1'inin %100 oranında Türkçe hazırlandığı belirlenmiştir. Dolayısıyla metaverse konusunu ele alan lisansüstü tez çalışmalarının en fazla Türkçe dilinde hazırlandığı bulgusuna ulaşılmıştır.

### 3.7. Lisansüstü Tezlerin Konularına ve Konu Sayılarına Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin konularına ve konu sayılarına göre dağılımları Tablo 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Tez çalışmalarının konuları ve konu sayıları.

Konular	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
Mimarlık	7	-	-	-
Sanat Tarihi	1	1	-	-
Teknik Eğitim	1	-	-	-
Güzel Sanatlar	5	-	3	-
Eğitim ve Öğretim	2	-	-	-
Reklamcılık	3	-	-	-
İletişim Bilimleri	5	1	-	-
Halkla İlişkiler	1	-	-	-
Bilim ve Teknoloji	2	-	-	-
Siyasal Bilimler	2	-	-	-
İç Mimari ve Dekorasyon	1	-	-	-
Endüstri ve Endüstri Mühendisliği	1	-	-	-
Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri Bilgisayar ve Kontrol	1	1	-	-
Genetik	1	-	-	-
Din	1	-	-	-
Sosyoloji	1	-	-	-
Felsefe	-	1	-	-
Gazetecilik	-	1	-	-
Denizcilik	-	1	-	-
İşletme	4	-	-	-
Müzecilik	1	-	-	-
Aile Hekimliği	-	-	-	1
Endüstri Ürünleri Tasarımı	1	-	-	-
Jeodezi ve Fotogrametri	1	-	-	-
Konu Sayıları	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
1	26	3	3	1
2	8	-	-	-
3	-	1	-	-

Tablo 1’de görüldüğü üzere yüksek lisans tez çalışmalarının 26’sının %76,5 oranında “1” konuda, 8’inin %23,5 oranında “2” konuda hazırlanmıştır. Doktora tez çalışmalarının 3’ünün %75 oranında “1” konuda, 1’inin %25 oranında “3” konuda hazırlandığı belirlenmiştir. Sanatta Yeterlik tez çalışmalarının 1’inin %100 oranında “3” konuda, Tıpta Uzmanlık tez çalışmalarının ise 1’inin %100 oranında “1” konuda hazırlandığı görülmüştür.

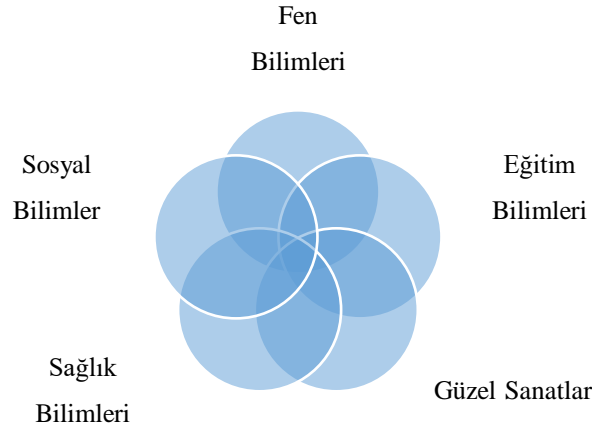
Yüksek lisans tez çalışmalarının 7’sinin % 20,6 oranında “Mimarlık”, 5’erinin %14,7 oranında “Güzel Sanatlar”, “İletişim Bilimleri”, 4’ünün %11,8 oranında “İşletme”, 3’ünün %8,8 oranında “Reklamcılık”,

Yüksek lisans tez çalışmalarının 2’serinin %5,9 oranında “Eğitim ve Öğretim”, “Bilim ve Teknoloji”, “Siyasal Bilimler”, 1’erinin %2,9 oranında “Sanat Tarihi”, “Teknik Eğitim”, “Halkla İlişkiler”, “İç Mimari ve Dekorasyon”, “Endüstri ve Endüstri Mühendisliği”, “Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri Bilgisayar ve Kontrol”, “Genetik”, “Din”, “Sosyoloji”, “Müzecilik” konularında hazırlandığı görülmüştür.

Doktora tez çalışmalarının 1'lerinin %25 oranında “Sanat Tarihi”, “İletişim Bilimleri”, “Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri Bilgisayar ve Kontrol”, “Felsefe”, “Gazetecilik”, “Denizcilik” konularında hazırlandığı tespit edilmiştir.

Sanatta yeterlik tez çalışmalarının 3'ünün %100 oranında “Güzel Sanatlar” konusunda hazırlandığı görülmüştür.

Tıpta uzmanlık tez çalışmalarının 1'inin % 100 oranında “Aile Hekimliği” konusunda hazırlandığı belirlenmiştir. Bu kapsamda lisansüstü tez çalışmalarının en fazla mimarlık, güzel sanatlar, iletişim bilimleri ve işletme konularında hazırlandığı bulgusuna ulaşılmıştır. Bu da metaverse teknolojisinin disiplinlerarası çalışma konusu olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 7’de metaverse’ün disiplinlerarası etkileşimi sunulmuştur.



Şekil 7. Metaverse’ün disiplinlerarası etkileşimi.

Şekil 7’de metaverse teknolojisinin güzel sanatlar, fen, sosyal, sağlık ve eğitim bilimleri gibi birçok bilim dalının ilgisini çekmesi nedeniyle disiplinlerarası bir çalışma konusu haline geldiği görülmüştür. Elde edilen bu bulgu pek çok çalışmada desteklenmektedir. Örneğin Belli ve Dertli (2022), Dertli ve Dertli (2023a), Dertli ve Dertli (2023b), Soysal (2023), Duan vd. (2019), Ercan (2022), Kaba ve Gelişen (2022), Aytaç (2022) gibi bir çok araştırmada;

Metaverse’ün turizm, spor, lojistik, girişimcilik, hukuk, tıp, mimarlık, mühendislik, tarım, eğitim gibi çeşitli alanlarda araştırılan disiplinlerarası bir çalışma olduğunu göstermiştir.

### 3.8. Lisansüstü Tezlerin Dizinlerine Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin dizinlerine göre dağılımları Şekil 8’de, dizin durumları ise Tablo 2’de sunulmuştur.



Şekil 8. Tez çalışmalarının dizinleri.

Şekil 8’de metaverse hakkında yapılan tez çalışmalarının dizinlerinde en fazla “sanal”, “gerçeklik”, “oyunları”, “grafik”, “mekan”, “Türkçe”, “tasarım”, “çevrimiçi”, “mimari”, “görsel”, “bilgisayar” kelimelerinin kullanıldığı görülmüştür. Dolayısıyla bu dizin kelimeleri tez çalışmalarının içeriği hakkında bilgi vermektedir.

Tablo 2. Tez çalışmalarının dizin durumları.

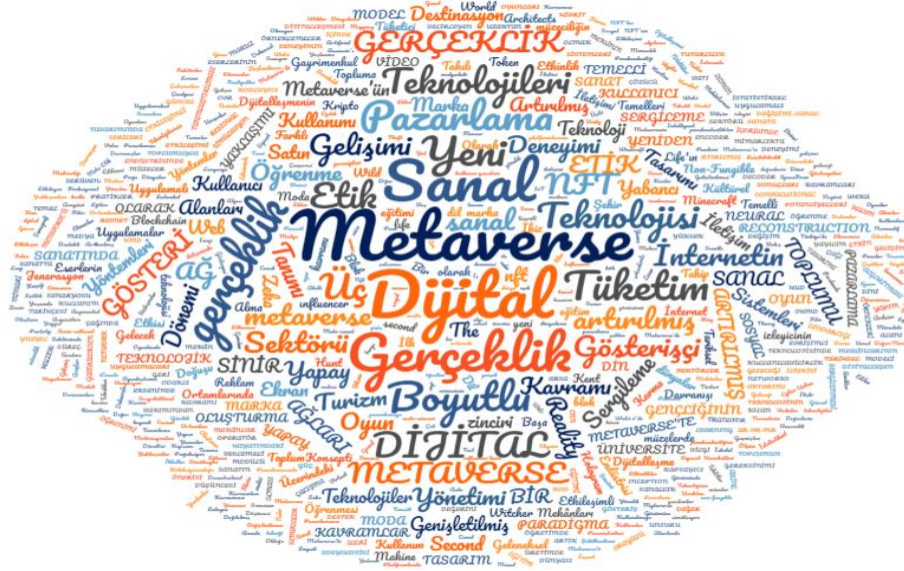
Dizin Durumları	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
Var	15	1	2	1
Yok	19	3	1	-

Yüksek lisans tez çalışmalarından 15’inin % 44,1 oranında, doktora tez çalışmalarının 1’inin % 25 oranında, sanatta yeterlik tez çalışmalarının 2’sinin % 66,7 oranında ve tıpta uzmanlık tezlerinin 1’inin %100 oranında dizine yer verdiği belirlenmiştir.

### 3.9. Lisansüstü Tezlerin Bölüm Başlıklarına Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin bölüm başlıklarına göre dağılımları Şekil 9’da sunulmuştur.





Şekil 9. Tez çalışmalarının bölüm başlıkları.

Şekil 9’da metaverse hakkında yapılan tez çalışmalarının bölüm başlıklarında en fazla “metaverse”, “yeni”, “dijital”, “pazarlama”, “gerçeklik” kelimelerinin kullanıldığı görülmüştür. Bu da tez çalışmalarının bölümlerinde metaverse’ün sanal gerçeklik ile yeni dijital pazarlama bölümleriyle açıklanmaya çalışıldığını ortaya koymuştur.

### 3.10. Lisansüstü Tezlerin Anahtar Kelimelerine-Anahtar Kelime Sayılarına Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin anahtar kelimelerine göre dağılımları Şekil 10’da, anahtar kelime sayıları ise Tablo 3’te sunulmuştur.



Şekil 10. Tez çalışmalarının anahtar kelimeleri.

Şekil 10’da metaverse hakkında yapılan tez çalışmalarının anahtar kelimelerinde en fazla “metaverse”, “sanal dünya”, “etkileşim”, “secondlife”, “sanal gerçeklik”, “artırılmış gerçeklik”, “mekan”, “dijital”, “yapay zeka”, “blochain-blokcincir”, “NFT”, “video oyunları”, “dijital deneyim”, “dijital pazarlama” kelimelerinin kullanıldığı görülmüştür. Bu da metaverse’ü ele alan tez çalışmalarının içeriğinin yapay zeka ve sanal gerçeklik ile oluştuğunu göstermiştir.

**Tablo 3.** Tez çalışmalarının anahtar kelime sayıları.

Anahtar Kelime Sayısı	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
3	1	-	-	-
4	11	1	-	-
5	14	-	1	1
6	2	-	2	-
7 ve üzeri	3	2	-	-

Tablo 3’te görüldüğü üzere yüksek lisans tez çalışmalarının 1’inin %2,9 oranında “3” anahtar kelime, 11’inin %32,4 oranında “4” anahtar kelime, 14’ünün % 41,2 oranında “5” anahtar kelime, 2’sinin %5,9 oranında “6” anahtar kelime ve 3’ünün %8,8 oranında “7 ve üzeri” anahtar kelime ile hazırlanmıştır. Toplam 34 yüksek lisans tezinden 3’ünde anahtar kelimelerin bulunmadığı belirlenmiştir. Bu durum hem 2022 yılında yayınlanan 2 yüksek lisans tezinde anahtar kelimeye yer verilmemesinden hem de 2023 yılında yayınlanan 1 yüksek lisans tezinin 26.07.2023 tarihine kadar erişiminin yazar tarafından kısıtlanmasından kaynaklanmıştır. Doktora tez çalışmalarının 1’inin %25 oranında “4” anahtar kelime, 2’sinin %50 oranında “7 ve üzeri” anahtar kelime ile hazırlandığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla toplam 4 doktora tezinden 3’ünde anahtar kelimelerin bulunduğu, 2022 yılında yayınlanan 1 doktora tezinde ise anahtar kelimelerin bulunmadığı bulgusuna ulaşılmıştır. Sanatta yeterlik tez çalışmalarının 1’inin %33,3 oranında “5” anahtar kelime, 2’sinin %66,7 oranında “6” anahtar kelime ile tıpta uzmanlık tez çalışmalarının ise 1’inin %100 oranında “5” anahtar kelime ile hazırlandığı belirlenmiştir. Bu durumda lisansüstü tez çalışmalarının içeriğinin ayrıntılı bir şekilde özetlenmesine katkı sağlamıştır.

### 3.11. Lisansüstü Tezlerin Yıllara Göre Yayın Sayısı Değişimi

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin yıllara göre yayın sayısı değişimi Tablo 4’te sunulmuştur.

**Tablo 4.** Tez çalışmalarının yıllara göre yayın sayısı değişimi.

Yıllara Göre Yayın Sayısı	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
2009	1	-	-	-
2012	1	-	-	-
2019	-	-	1	-
2020	1	-	-	-
2022	20	4	2	-
2023	11	-	-	1

Tablo 4'te görüldüğü üzere yüksek lisans tez çalışmalarından 1'lerinin %2,9 oranında "2009", "2012", "2020" yıllarında, 20'sinin % 58,8 oranında "2022" yılında, 11'inin %32,4 oranında "2023" yılında hazırlanmıştır. Doktora tez çalışmalarının 4'ünün %100 oranında "2023" yılında, sanatta yeterlik tezlerinin 1'inin %33,3 oranında "2019" ve 2'sinin %66,7 oranında "2022" yılında, tıpta uzmanlık tezlerinin ise 1'inin %100 oranında "2023" yılında hazırlandığı belirlenmiştir. Bu durum metaverse'ün son yıllarda merak uyandırmaya başlayan bir konu olduğunu ortaya koymuştur.

### 3.12. Lisansüstü Tezlerin Üniversitelerine Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin üniversitelerine göre dağılımları Tablo 5'te sunulmuştur.

**Tablo 5.** Tez çalışmalarının üniversitelerine göre dağılımı.

Üniversiteler	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
Yıldız Teknik Üniversitesi	3	-	-	-
Süleyman Demirel Üniversitesi	1	-	-	-
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi	1	-	-	-
TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi	1	-	-	-
Üsküdar Üniversitesi	1	-	-	-
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi	1	-	-	-
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi	1	-	-	-
Başkent Üniversitesi	2	-	-	-
İstanbul Bilgi Üniversitesi	1	-	-	-
İstanbul Ticaret Üniversitesi	1	-	-	-
Bahçeşehir Üniversitesi	2	-	-	-
İstanbul Teknik Üniversitesi	1	1	-	-
Beykent Üniversitesi	1	-	-	-
Hasan Kalyoncu Üniversitesi	2	-	-	-
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa	1	-	-	-
Erciyes Üniversitesi	2	-	-	-
Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi	1	-	-	-
İzmir Ekonomi Üniversitesi	1	-	-	-
Gazi Üniversitesi	1	-	-	-
Anadolu Üniversitesi	1	-	-	-
İstanbul Gelişim Üniversitesi	1	-	-	-
Işık Üniversitesi	1	-	-	-



KTO Karatay Üniversitesi	1	-	-	-
Çağ Üniversitesi	1	-	-	-
Yeditepe Üniversitesi	1	-	-	-
İstanbul Kültür Üniversitesi	1	-	-	-
Akdeniz Üniversitesi	1	-	-	-
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	1	-	-	-
Hacettepe Üniversitesi	-	1	3	-
İstanbul Üniversitesi	-	1	-	-
Marmara Üniversitesi	-	1	-	-
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi	-	-	-	1

Tablo 5’te görüldüğü üzere yüksek lisans tez çalışmalarından 3’ünün %8,8 oranında “Yıldız Teknik Üniversitesi”, 2’sinin %5,9 oranında “Başkent Üniversitesi”, “Bahçeşehir Üniversitesi”, “Hasan Kalyoncu Üniversitesi”, “Erciyes Üniversitesi” ve

Yüksek lisans tez çalışmalarından 1’erinin %2,9 oranında ise “Süleyman Demirel Üniversitesi”, “Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi”, “TOBB Ekonomi ve Teknoloji Üniversitesi”, “Üsküdar Üniversitesi”, “İzmir Katip Çelebi Üniversitesi”, “Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi”, “İstanbul Bilgi Üniversitesi”, “İstanbul Ticaret Üniversitesi”, “İstanbul Teknik Üniversitesi”, “Beykent Üniversitesi”, “İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa”, “Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi”, “İzmir Ekonomi Üniversitesi”, “Gazi Üniversitesi”, “Anadolu Üniversitesi”, “İstanbul Gelişim Üniversitesi”, “Işık Üniversitesi”, “KTO Karatay Üniversitesi”, “Çağ Üniversitesi”, “Yeditepe Üniversitesi”, “İstanbul Kültür Üniversitesi”, “Akdeniz Üniversitesi”, “Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi” bünyesinde hazırlanmıştır.

Doktora tez çalışmalarından 1’erinin %25 oranında “İstanbul Teknik Üniversitesi”, “Hacettepe Üniversitesi”, “İstanbul Üniversitesi” ve “Marmara Üniversitesi”, sanatta yeterlik tezlerinden 3’ünün %100 oranında “Hacettepe Üniversitesi”, tıpta uzmanlık tezlerinden 1’inin %100 oranında “Sivas Cumhuriyet Üniversitesi” bünyesinde hazırlandığı belirlenmiştir. Dolayısıyla lisansüstü tezlerinin tamamı değerlendirildiğinde; Hacettepe Üniversitesi ve Yıldız Teknik Üniversitesi’nin metaverse konulu yayın sayısı ile ön plana çıktığı görülmüştür. Üniversitelerin metaverse sanal evreninin konu alan çalışmalar gerçekleştirilmesi hem metaverse’e yönelik çalışmaların artmasına hem de metaverse teknolojisine yönelik bir bakış açısının geliştirilmesine katkıda bulunacağı düşünülmektedir.

### 3.13. Lisansüstü Tezlerin Yazıldığı İllere Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin yazıldığı illere göre dağılımı Tablo 6’da sunulmuştur.

**Tablo 6.** Tez çalışmalarının yazıldığı illere göre dağılımı.

Üniversiteler	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
İstanbul	15	3	-	-
Isparta	1	-	-	-
Ankara	4	1	3	-
Tokat	1	-	-	-
İzmir	2	-	-	-
Bolu	1	-	-	-
Gaziantep	2	-	-	-
Kayseri	2	-	-	-
Kahramanmaraş	1	-	-	-
Eskişehir	1	-	-	-
Konya	1	-	-	-
Mersin	1	-	-	-
Antalya	1	-	-	-
Zonguldak	1	-	-	-
Sivas	-	-	-	1

Tablo 6’da yüksek lisans tez çalışmalarından 4’ünün %11,8 oranında “Ankara”, 15’inin %44,1 oranında “İstanbul”, 2’serinin %5,9 oranında “İzmir”, “Gaziantep”, “Kayseri”, 1’erinin % 2,9 oranında “Isparta”, “Tokat”, “Bolu”, “Kahramanmaraş”, “Eskişehir”, “Konya”, “Mersin”, “Antalya”, “Zonguldak” illerinde hazırlandığı görülmüştür. Doktora tez çalışmalarından 3’ünün %75 oranında “İstanbul”, 1’inin %25 oranında “Ankara”, sanatta yeterlik tezlerinden 3’ünün %100 oranında “Ankara”, tıpta uzmanlık tezlerinden 1’inin %100 oranında “Sivas” ilinde hazırlandığı belirlenmiştir. Özellikle bu durum İstanbul ilinde yer alan üniversitelerdeki araştırmacıların, yeni bir çalışma alanı olan metaverse sanal evrenine yöneldiğini ortaya koymuştur.

### 3.14. Lisansüstü Tezlerin Enstitü ve Fakültelerine Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin enstitü ve fakültelerine göre dağılımları Tablo 7’de sunulmuştur.

**Tablo 7.** Tez çalışmalarının enstitü ve fakültelerine göre dağılımı.

Değişkenler	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
Sosyal Bilimler Enstitüsü	11	2	-	-
Fen Bilimleri Enstitüsü	7	1	-	-
Eğitim Bilimleri Enstitüsü	1	-	-	-
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü	14	1	-	-
Sağlık Bilimleri Enstitüsü	1	-	-	-
Güzel Sanatlar Enstitüsü	-	-	3	-
Tıp Fakültesi	-	-	-	1

Tablo 7’de yüksek lisans tez çalışmalarından 14’ünün %41,2 oranında “Lisansüstü Eğitim Enstitüsü”, 11’inin %32,4 oranında “Sosyal Bilimler Enstitüsü”, 7’sinin %20,6 oranında “Fen Bilimleri Enstitüsü”, 1’erinin %2,9 oranında “Sağlık Bilimleri Enstitüsü” ve “Eğitim Bilimleri

Enstitüsü” bünyesinde hazırlandığı görülmüştür. Doktora tez çalışmalarından 2’sinin %50 oranında “Sosyal Bilimler Enstitüsü”, 1’erinin %25 oranında “Fen Bilimleri Enstitüsü” ve “Lisansüstü Eğitim Enstitüsü”, sanatta yeterlik tezlerinden 3’ünün %100 oranında “Güzel Sanatlar Enstitüsü”, tıpta uzmanlık tezlerinden 1’inin %100 oranında “Tıp Fakültesi” bünyesinde hazırlandığı belirlenmiştir. Özellikle bu durum fen, güzel sanatlar ve eğitim bilimlerinde metaverse’ye yönelik yeteri kadar çalışma yapılmadığını ortaya koymuştur.

### 3.15. Lisansüstü Tezlerin Ana Bilim ve Ana Sanat Dallarına Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin ana bilim- ana sanat dallarına göre dağılımları Tablo 8’de sunulmuştur.

**Tablo 8.** Tez çalışmalarının ana bilim ve ana sanat dallarına göre dağılımı.

Değişkenler	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
Sanat ve Tasarım Ana Sanat Dalı	2	-	-	-
Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Türkçe ve Sosyal Bilimler Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Tasarım Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Mimarlık Ana Bilim Dalı	5	-	-	-
Görsel İletişim Tasarımı Ana Bilim Dalı	3	-	-	-
Medya ve İletişim Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
İletişim Bilimleri Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Pazarlama Ana Bilim Dalı	2	-	-	-
İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Sosyal Bilimler Ana Bilim Dalı / Oyun Tasarımı Programı	1	-	-	-
Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
İletişim ve Tasarım Ana Sanat Dalı	1	-	-	-
Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı	1	1	-	-
Kök Hücre Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Felsefe ve Din Bilimleri Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Tasarım Çalışmaları Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Uzaktan Eğitim Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
İşletme Ana Bilim Dalı	2	-	-	-
Sanat Tarihi ve Müzecilik Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
İşletme Yönetimi Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Siyaset Bilimi ve Uluslararası İlişkiler Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı	1	-	-	-
Sanat Tarihi Ana Bilim Dalı	-	1	-	-
Deniz Ulaştırma Mühendisliği Ana Bilim Dalı	-	1	-	-
Gazetecilik Ana Bilim Dalı	-	1	-	-
Grafik Ana Sanat Dalı- Grafik Ana Bilim Dalı	-	-	3	-
Aile Hekimliği Ana Bilim Dalı	-	-	-	1

Tablo 8’de yüksek lisans tez çalışmalarından 1’erinin % 2,9 oranında;

“Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı”, “Türkçe ve Sosyal Bilimler Ana Bilim Dalı”, “Tasarım Ana Bilim Dalı”, “Medya ve İletişim Ana Bilim Dalı”, “İletişim Bilimleri Ana Bilim Dalı”, “Yönetim Bilişim Sistemleri Ana Bilim Dalı”,

“İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Ana Bilim Dalı”, “Sosyal Bilimler Ana Bilim Dalı / Oyun Tasarımı Programı”, “Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı”, “İletişim ve Tasarım Ana Sanat Dalı”, “Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı”, “Kök Hücre Ana Bilim Dalı”, “Felsefe ve Din Bilimleri Ana Bilim Dalı”,

“Tasarım Çalışmaları Ana Bilim Dalı”, “Uzaktan Eğitim Ana Bilim Dalı”, “Sanat Tarihi ve Müzecilik Ana Bilim Dalı”, “İşletme Yönetimi Ana Bilim Dalı”, “Siyaset Bilimi ve Uluslararası İlişkiler Ana Bilim Dalı”, “Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Ana Bilim Dalı”, “Geomatik Mühendisliği Ana Bilim Dalı”;

2’sinin %5,9 oranında “Sanat ve Tasarım Ana Sanat Dalı”, “Pazarlama Ana Bilim Dalı”, “İşletme Ana Bilim Dalı” 3’ünün %8,8 oranında “Görsel İletişim Tasarımı Ana Bilim Dalı”, 5’inin % 14,7 oranında “Mimarlık Ana Bilim Dalı” bünyesinde hazırlandığı görülmüştür.

Doktora tez çalışmalarından 1’erinin %25 oranında “Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı”, “Sanat Tarihi Ana Bilim Dalı”, “Deniz Ulaştırma Mühendisliği Ana Bilim Dalı”, “Gazetecilik Ana Bilim Dalı”;

Sanatta yeterlik tezlerinin ise 3’ünün %100 oranında “Grafik Ana Sanat Dalı- Grafik Ana Bilim Dalı”; tıpta uzmanlık tezlerinden 1’inin %100 oranında “Aile Hekimliği Ana Bilim Dalı” bünyesinde hazırlandığı belirlenmiştir. Özellikle lisansüstü tezlerin tamamı değerlendirildiğinde, Mimarlık’ta metaverse’ün daha fazla ilişkilendirildiği ortaya koyulmuştur.

### 3.16. Lisansüstü Tezlerin Erişim Durumuna Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin erişim durumuna göre dağılımları Tablo 9’da sunulmuştur.

**Tablo 9.** Tez çalışmalarının erişim durumları.

Erişim Durumları	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
Var	33	4	3	1
Yok	1	-	-	-

Yüksek lisans tez çalışmalarından 33’ünün % 97,1 oranında, doktora tez çalışmalarının 4’ünün % 100 oranında, sanatta yeterlik tez çalışmalarının 3’ünün % 100 oranında ve tıpta uzmanlık tezlerinin 1’inin %100 oranında erişim izninin bulunduğu belirlenmiştir. Yalnızca 2023 yılında

yayınlanan 1 yüksek lisans tezinin 26.07.2023 tarihine kadar erişiminin yazar tarafından kısıtlanmıştır.

### 3.17. Lisansüstü Tezlerin Sayfa Sayısına Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin sayfa sayısına göre dağılımları Tablo 10'da sunulmuştur.

**Tablo 10.** Tez çalışmalarının sayfa sayısına göre dağılımı.

Sayfa Sayısı	Yüksek Lisans	Doktora	Sanatta Yeterlik	Tıpta Uzmanlık
60 ve aşağısı	1	-	-	-
61-100	14	2	-	1
101-200	18	-	2	-
201-300	1	2	1	-

Tablo 10'da görüldüğü üzere yüksek lisans tez çalışmalarından 18'inin %52,9 oranında "101-200", 14'ünün %41,2 oranında "61-100", 1'erinin %2,9 oranında "60 ve aşağısı" ile "201-300"; doktora tezlerinin 2'sinin %50 oranında "61-100" ile "201-300";

Sanatta yeterlik tezlerinin 2'sinin %66,7 oranında "101-200", 1'inin %33,3 oranında "201-300"; tıpta uzmanlık tezlerinin 1'inin %100 oranında "61-100" sayfa aralığında hazırlandığı tespit edilmiştir.

Yüksek lisans tezlerinin en az "57", ortalama "112", en fazla "224", doktora tezlerinin en az "95", ortalama "175", en fazla "261", sanatta yeterlik tezlerinin en az "159", ortalama "212", en fazla "283", tıpta uzmanlık tezlerinin ise "72" sayfa sayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum sanatta yeterlik tezlerinde araştırma konusuna yönelik daha geniş kapsamlı çalışmaların gerçekleştirildiğini ortaya koymuştur.

### 3.18. Lisansüstü Tezlerin Modeline Göre Dağılımı

Ampirik bir çalışmanın başlıklarını giriş, literatürün gözden geçirilmesi, metodoloji (konu, deney, anket, görüşme, gözlem karakteristikleri, araçlar, araştırma süreci, verilerin analizi, etik kodlar), sonuç, tartışma, genel değerlendirme ve kaynakça oluştururken teorik bir çalışmanın başlıklarını ise giriş, literatürün gözden geçirilmesi, teorik yaklaşım, teorik gelişmeler, tartışma, genel değerlendirme ve kaynakça bölümleri oluşturmaktadır (Usta, 2011, s. 191-193).

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin modeline göre dağılımı Şekil 11'de sunulmuştur.

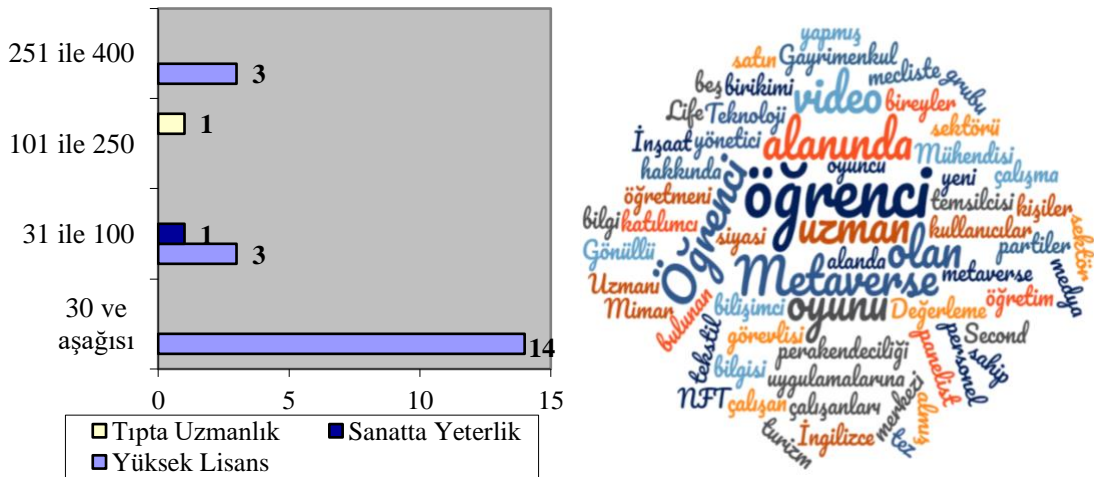


Şekil 11. Tez çalışmalarının modeline göre Sankey diyagramı.

Şekil 11’de yüksek lisans tez çalışmalarından 26’sının ampirik, 8’inin teorik, doktora tezlerinden 2’sinin ampirik, 1’inin teorik, sanatta yeterlik ve tıpta uzmanlık tezlerinin tamamının ampirik çalışma olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte metaverse hakkında yapılan tez çalışmalarının en fazla “görüşme”, ”model üretimi”, “inceleme” modelinden faydalandığı tespit edilmiştir.

### 3.19. Lisansüstü Tezlerin Örnekleme Göre Dağılımı

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerin örnekleme göre dağılımı Şekil 12’de sunulmuştur.



Şekil 12. Tez çalışmalarının örnekleme göre dağılımı.

Şekil 12’de görüldüğü üzere yüksek lisans tezlerinin 14’ünün %41,2 oranında “30 ve aşağısı”, 3’ünün %8,8 oranında “31-100”, “251-400” sanatta yeterlik tezlerinin 1’inin %33,3 oranında “31-

100”, tıpta uzmanlık tezlerinin 1’inin %100 oranında “101-250” aralığındaki örneklem sayısına sahip olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda yüksek lisans tez çalışmalarının en az “2”, ortalama “ 87”, en fazla “449” örneklem sayısına sahip olduğu ve doktora tezlerinin yararlandığı yöntemden dolayı örneklem grubunun bulunmadığı belirlenmiştir. Bununla birlikte metaverse hakkında yapılan tez çalışmalarının en fazla “Öğrenci”, “Uzman”, “Mimar”, “İnşaat Mühendisi”, “Secondlife Kullanıcıları”, “metaverse perakendeciliği uygulamalarına sahip tekstil sektörü” örneklem grubuyla gerçekleştirildiği tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada Metaverse sanal evreninin disiplinlerarasındaki genel görünümünü ortaya çıkararak konunun önemine dikkat çekilmesi ve ileriki dönemde yapılacak araştırmalara fikir oluşturulması amaçlanmıştır. Bu bağlamda araştırma kapsamında elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenmiştir:

İlgili literatür incelendiğinde; Çelik ve ark., (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışma sonunda araştırmacılar, araştırmaların büyük bir bölümünün Güney Kore’de yapıldığı ve metaverse sanal evreninin niyet üzerindeki etkisinin araştırıldığını tespit etmişlerdir. Kılınç ve ark., (2022) araştırmasında; Metaverse’ün avatar, işbirliği, eğitim, 3B, sanat, avatar, sürükleyici, bulunuşluk, derin öğrenme, e-öğrenme, blokzincir, yapay zekâ ve sanal dünya kavramlarıyla ilişkilendirildiği görülmüştür. Araştırmacılar aynı zamanda; Türkiye’de metaverse teknolojisine yönelik çalışma alanının olgunlaşmamasına rağmen bir çalışma altyapısının oluşma potansiyelinin mevcut olduğu bulgusuna ulaşmışlardır. Benzer bir şekilde Karagöz Zeren (2022) çalışmasında da metaverse teknolojisinin keşfedilmemiş bir araştırma alanını ve sanal uygulamalarını temsil ettiği vurgulanmıştır. Bununla birlikte araştırmacılar; metaverse sanal evreninin turistik ürün ve hizmet tüketme şekillerini değiştirebilecek etkiye sahip olabileceğini ön görülmüştür. Nguyen and Voznak (2024) çalışmasında metaverse teknolojisinde tıp ve sağlık bilişimini önermiştir. Rejeb et al., (2023); metaverse teknolojisinin sağlık hizmetleri, eğitim, perakende, turizm gibi sektörlerdeki geniş kapsamlı etkilerinin altının çizildiği çalışmada disiplinlerarası ve kurumlarası iş birliklerinin teşvik edilmesi vurgulanmıştır.

Bu araştırma kapsamında incelenen lisansüstü tezlere ilişkin elde edilen veriler şu şekilde özetlenmiştir: Tez çalışmalarının 34’ünün %81 oranında yüksek lisans tezi, 4’ünün %9,5 oranında doktora tezi, 3’ünün %7,1 oranında sanatta yeterlik tezi ve 1’inin %2,4 oranında tıpta uzmanlık tezi olmak üzere toplam 42 lisansüstü tezine ulaşılmıştır. Bu da tez konusunun seçiminde güncel konulardan biri olan metaverse teknolojisiyle ilgili yüksek lisans tezlerinde daha fazla çalışma

yapıldığı belirlenmiştir. Bu durum yüksek lisans eğitimi alan bireylerin sayısının artmasıyla hem de doktora eğitiminin tamamlanma süresiyle ilişkilendirilmiştir.

Lisansüstü tez çalışmalarında metaverse teknolojisinin kadın ve erkek yazarlar tarafından eşit ele alındığı belirlenmiştir. Bu da metaverse konusunun cinsiyete göre farklılık göstermediği şeklinde yorumlanmıştır.

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tez çalışmalarından 34 yüksek lisans tezinden yalnızca 6'sının İngilizce hazırlandığı, doktora, tıpta uzmanlık ve sanatta yeterlik tezlerinin tamamının Türkçe hazırlandığı lisansüstü tezlerin tamamı değerlendirildiğinde ise en tez çalışmalarının en fazla Türkçe dilinde yayınlandığı bulgusuna ulaşılmıştır. Bu bulguda Dertli ve Dertli (2024) çalışmasıyla yakın bir paralellik göstermiştir.

Doktora tez çalışmalarının yarısına Profesör Doktor yarısına Doçent Doktor; yüksek lisans, tıpta uzmanlık, sanatta yeterlik tez çalışmalarına ise en fazla Profesör Doktor unvanına sahip akademisyenin danışmanlık yaptığı, lisansüstü tezlerin tamamı değerlendirildiğinde ise en fazla Profesör Doktor ünvanına sahip akademisyenlerin danışmanlığında tez çalışmalarının hazırlandığı belirlenmiştir. Bu bulguda Boztepe (2024) çalışmasıyla yakın bir paralellik göstermiştir. Bununla birlikte lisansüstü tez çalışmalarının tamamının 1 akademisyenin danışmanlığında gerçekleştirildiği ve yalnızca 1 yüksek lisans tezinin 26.07.2023 tarihine kadar erişiminin yazar tarafından kısıtlandığı bulgusuna ulaşılmıştır.

Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerde dizine yer veren tezlerin en fazla yüksek lisans, sanatta yeterlik, tıpta uzmanlık tezleri olduğu belirlenmiştir. Yüksek lisans, doktora ve tıpta uzmanlık tez çalışmalarının en fazla "1" konuda, sanatta yeterlik tez çalışmalarının tamamının "3" konuda hazırlandığı, lisansüstü tezlerin tamamı değerlendirildiğinde ise en fazla "1" konuda araştırmaların gerçekleştirildiği belirlenmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmalarının en fazla "Mimarlık", sanatta yeterlik tez çalışmalarının tamamının "Güzel Sanatlar, tıpta uzmanlık tez çalışmasının tamamının "Aile Hekimliği", doktora tezlerinin dörtte bir oranında "Sanat Tarihi", "İletişim Bilimleri", "Bilgisayar Mühendisliği Bilimleri Bilgisayar ve Kontrol", "Felsefe", "Gazetecilik", "Denizcilik" konularında hazırlandığı belirlenmiştir. Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerinin tamamı değerlendirildiğinde ise en fazla mimarlık, güzel sanatlar, iletişim bilimleri ve işletme konularında hazırlandığı belirlenmiştir. Bu bulguda Karagöz Zeren (2022) çalışmasıyla yakın bir paralellik göstermektedir.

Tez çalışmalarının dizinlerinde en fazla "sanal", "gerçeklik", "oyunları", "grafik", "mekan", "Türkçe", "tasarım", "çevrimiçi", "mimari", "görsel", "bilgisayar"; anahtar kelimelerinde en fazla "metaverse", "sanal dünya", "etkileşim", "secondlife", "sanal gerçeklik", "artırılmış gerçeklik", "mekan", "dijital", "yapay zeka", "blochain-blokcincir", "NFT", "video oyunları", "dijital deneyim", "dijital pazarlama" bölüm başlıklarında ise en fazla "metaverse", "yeni", "dijital", "pazarlama",



“gerçeklik”; kelimelerinin kullanıldığı belirlenmiştir. Bu durum da metaverse teknolojisinin en fazla dijitalleşme ve sanal dünya ile ilişkilendirildiğini ortaya koymuştur. Bu bulguda Kılınç vd. (2022) çalışmasıyla yakın bir paralellik göstermiştir.

Tıpta uzmanlık ve yüksek lisans tez çalışmalarının en fazla “5” anahtar kelime, doktora tez çalışmalarının en fazla “7 ve üzeri” anahtar kelime, sanatta yeterlik tez çalışmalarının en fazla “6” anahtar kelime ile tez çalışmalarının tamamı değerlendirildiğinde ise lisansüstü tezlerin en fazla 5 anahtar kelime ile hazırlandığı belirlenmiştir. Bu durumda lisansüstü tez çalışmalarının içeriğinin ayrıntılı bir şekilde özetlendiğini ortaya koymuştur. Bu bulguda Dertli ve Belli (2023) çalışmasıyla yakın bir paralellik göstermiştir.

Yüksek lisans, doktora ve sanatta yeterlik tez çalışmalarının en fazla 2022 yılında hazırlandığı, Tıpta uzmanlık tezinin ise “2023” yılında hazırlandığı belirlenmiştir. Metaverse ile ilgili ilk yüksek lisans tezinin “2009” yılında, ilk sanatta yeterlik tezlerinin “2019” yılında yazıldığı doktora tezlerinin tamamının “2022” yılında, tıpta uzmanlık tezinin tamamının ise “2023” yılında hazırlandığı bulgusuna ulaşılmıştır. Lisansüstü tezlerin tamamı değerlendirildiğinde ise ilk tez çalışmasının “2009” yılında hazırlandığı, yayın yılının en fazla olduğu yılın ise “2022” olduğu belirlenmiştir. Buda metaverse teknolojisinin gün geçtikçe merak uyandırmaya başladığını ortaya koymuştur.

Yüksek lisans tez çalışmalarının en fazla “Yıldız Teknik Üniversitesi”, sanatta yeterlik tezlerinin tamamının “Hacettepe Üniversitesi”, doktora tez çalışmalarının dörtte bir oranında “İstanbul Teknik Üniversitesi”, “Hacettepe Üniversitesi”, “İstanbul Üniversitesi” ve “Marmara Üniversitesi”, tıpta uzmanlık tezinin tamamının “Sivas Cumhuriyet Üniversitesi” bünyesinde hazırlandığı bulgusuna ulaşılmıştır. Lisansüstü tezlerin tamamı değerlendirildiğinde ise en fazla tez çalışmasının Hacettepe Üniversitesi bünyesinde hazırlandığı belirlenmiştir. Buda üniversitelerin metaverse’e yönelik bir bakış açısının geliştirebileceğini gözler önüne sermiştir.

Yüksek lisans, doktora tez çalışmalarının en fazla “İstanbul” ilinde, sanatta yeterlik tezlerinin tamamının “Ankara”, tıpta uzmanlık tezinin tamamının ise “Sivas” ilinde hazırlandığı belirlenmiştir. Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerinin en fazla “İstanbul” ilinde hazırlandığı bulgusuna ulaşılmıştır. Buda İstanbul’da yer alan üniversitelerdeki tez çalışmaları konusunda metaverse’e yönelindiğini ortaya koymuştur.

Yüksek lisans tez çalışmalarının en fazla “Lisansüstü Eğitim Enstitüsü”, Doktora tez çalışmalarının en fazla “Sosyal Bilimler Enstitüsü”, sanatta yeterlik tezlerinin tamamının “Güzel Sanatlar Enstitüsü”, tıpta uzmanlık tezinin tamamının “Tıp Fakültesi” bünyesinde hazırlandığı belirlenmiştir. Yüksek lisans tez çalışmalarının en fazla “Mimarlık Ana Bilim Dalı”, Doktora tez çalışmalarından dörtte bir oranında “Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı”, “Sanat Tarihi Ana Bilim Dalı”, “Deniz Ulaştırma Mühendisliği Ana Bilim Dalı”, “Gazetecilik Ana Bilim Dalı” bünyesinde hazırlandığı görülmüştür. Sanatta yeterlik tezlerinin tamamının “Grafik Ana Sanat Dalı-

Grafik Ana Bilim Dalı”; tıpta uzmanlık tezinin tamamının “Aile Hekimliği Ana Bilim Dalı” bünyesinde hazırlandığı belirlenmiştir. Bu kapsamda tez çalışmalarının enstitüsünün en fazla Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ana Bilim Dalının en fazla Mimarlık Ana Bilim Dalı olduğu belirlenmiştir. Bu durumda ana bilim dalı ve konuların birbiriyle uyumlu olduğunu ortaya koymuştur.

Yüksek lisans tez çalışmalarının en fazla “101-200”, sanatta yeterlik tezlerinin en fazla “101-200”, doktora tezlerinin yarısının “61-100” yarısının “201-300”; tıpta uzmanlık tezinin tamamının “61-100” sayfa aralığında hazırlandığı bulgusuna ulaşılmıştır. Yüksek lisans tezlerinin en fazla “224”, doktora tezlerinin en fazla “261”, sanatta yeterlik tezlerinin en fazla “283”, tıpta uzmanlık tezlerinin ise “72” sayfa sayısına sahip olduğu tespit edilmiştir. Yüksek lisans tezlerinin en fazla “30 ve aşağısı”, sanatta yeterlik tezlerinin en fazla “31-100”, tıpta uzmanlık tezinin tamamının “101-250” aralığındaki örneklem sayısına sahip olduğu, doktora tezlerinin yararlandığı yöntemden dolayı örneklem grubunun bulunmadığı belirlenmiştir. Metaverse konusunu ele alan lisansüstü tezlerinin sayfa sayısının en fazla 101-200 aralığında, örneklem grubunun en fazla 30 ve aşağısında olduğu tespit edilmiştir. Bu da metaverse’e yönelik geniş kapsamlı araştırmaların gerçekleştirildiğini ortaya koymuştur.

Metaverse hakkında yapılan tez çalışmalarının en fazla “görüşme”, “inceleme” modelinden faydalandığı ve “Öğrenci”, “Uzman”, “Mimar”, “İnşaat Mühendisi”, “Secondlife Kullanıcıları”, “metaverse perakendeciliği uygulamalarına sahip tekstil sektörü” örneklem grubuyla gerçekleştirildiği tespit edilmiştir. Bu da metaverse’ün niteliksel açıdan daha fazla ele alındığını ortaya koymuştur. Bu bulguda Çelik vd. (2022) çalışmasıyla yakın bir paralellik göstermiştir.

Tüm bu durumları değerlendirdiğimizde; metaverse’ü ele alan lisansüstü tezleri bibliyometrik analiz yöntemiyle inceleyen araştırmanın bulunmaması ve bu araştırma kapsamında cevap aranan soruların yalnızca bir bölümüne ulusal ve uluslararası literatürde cevap aranması konunun özgünlüğünü ortaya koymuştur. Tezlerin çoğunluğunun yüksek lisans alanında yapıldığı için diğer tez türlerinde konuyla ilgili çalışmaların gerçekleştirilmesi gerekliliği gözler önüne serilmiştir. Bununla birlikte tezlerin çoğunluğunun sosyal bilimler alanında yapıldığı, diğer alanlarda bu oranın eşit bir şekilde dağılmadığı gözlemlenmekte olup bundan sonraki çalışmalarda diğer disiplinlerde de metaverse araştırmalarının yapılmasının önemi vurgulanmıştır. Son dönemin özgün ve önemli konularından olan metaverse’ün, Doğu Anadolu Bölgesi başta olmak üzere diğer bölgelerdeki üniversitelerde de yeterince çalışılmadığı belirlenmiş olup, üniversitelerde alandaki bu boşluğun giderilmesi bakımından konuyla ilgili daha fazla araştırmaların yapılması gerekliliği gözler önüne serilmiştir. Araştırmada aynı zamanda metaverse teknolojisinin disiplinlerarası çalışma konusu olduğu ortaya konulmuştur. Bütün bu durumlarda son zamanlarda popüler hale gelerek yeni bir araştırma alanı olan metaverse’e yönelik disiplinlerarası çalışmaların gerçekleştirilmesine ihtiyaç

duyulduğunu göstermiştir. Bu bulguda Rejeb et al., (2023) çalışmasıyla yakın bir paralellik göstermektedir.

Bu araştırma bulguları; metaverse'ün literatürdeki görünümünün ortaya koymasına, metaverse ile ilgili araştırılmamış/ yeterli sayıda incelenmemiş konulara yeni bir bakış açısı kazandırmasına, metaverse'e yönelik gelecekteki çalışma alanlarının belirlenmesine, konu üzerinde daha fazla ve daha kapsamlı araştırmaların gerçekleştirilmesine yön vermesine katkı sağlaması açısından son derece önemlidir.

Yöktez veri tabanının 13.02.2023-19.05.2023 tarihleri arasındaki metaverse konulu tez çalışmalarından elde edilen veriler araştırmanın sınırlılığını oluşturmaktadır.

Metaverse konusuna yönelik bibliyometrik analizin ulusal ve uluslararası literatürdeki tezlerde yapılmadığı ve metaverse teknolojisi ile ilgili gerçekleştirilen araştırmaların yeterli düzeyde olmadığına ortaya konulduğu bu çalışmada konuyla ilgili çalışma yapmayı planlayan araştırmacılara yönelik olarak;

PROQUEST veri tabanında metaverse'ü konu alan tezlerin bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmesi, çeşitli veri tabanlarını kullanarak daha genel bibliyometrik çalışmaların yapılması ve metaverse'e yönelik olarak ilgili araştırmaların artırılması önerilmiştir.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yazarlar, makalenin tüm süreçlerinde “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, karşılaşılabilecek etik ihlallerden Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi ve yayın kurulunun herhangi bir sorumluluğunun bulunmadığını, bu çalışmanın Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi dışında herhangi bir akademik yayın ortamında değerlendirilmediğini beyan ederler.

## Kaynaklar

- Abbate, S., Centobelli, P., Cerchione, R., Oropallo, E., & Riccio, E. (2022). A first bibliometric literature review on Metaverse. *IEEE-Technology-and-Engineering-Management-Society (IEEE TEMS) Technology and Engineering Management Conference - Europe (IEEE TEMSCON EUROPE)* (pp. 254-260). Izmir: IEEE. doi:10.1109/TEMSCONEUROPE54743.2022.9802015
- Agac, G., Sevim, F., Celik, O., Bostan, S., Erdem, R., & Yalcin, Y. I. (2023). Research hotspots, trends and opportunities on the metaverse in health education: a bibliometric analysis. *Library Hi Tech*, (ahead-of-print). doi:10.1108/LHT-04-2023-0168
- Akhil, M. P., Lathabhavan, R., & Mathew, A. M. (2024). Exploring research trends of metaverse in education: a bibliometric analysis. *Higher Education, Skills and Work-Based Learning*. doi:10.1108/HESWBL-06-2023-0156
- Akkaşoğlu, S., Akyol, C., Ulama, Ş., & Zengin, B. (2019). Tarım turizmine yönelik hazırlanan lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies*, 7(2), 1193-1218. doi:10.21325/jotags.2019.416
- Aytaç, Z. (2022). Metaverse uygulama alanlarının kelime ilişkilendirme ve tematik analizi: Twitter örneği. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 24(1), 100-118. [https://dergipark.org.tr/en/pub/iibfdkastamonu/issue/70712/1108550#article\\_cite](https://dergipark.org.tr/en/pub/iibfdkastamonu/issue/70712/1108550#article_cite)
- Belli, E., & Dertli, Ş. (2022). Erzurum'da kış turizminin yöresel ürünler üzerindeki etkisi: Metaverse yönelik kavramsal bir inceleme. *6th International Academic Sports Studies Congress*, (s. 445-446). Aydın: Aydın Adnan Menderes Üniversitesi
- Boztepe, E. (2024). Türkiye'de adli muhasebe alanında yayımlanmış tezlerin analizi. *International Anatolia Academic Online Journal Social Sciences Journal*, 10(1), 102-117.
- Chen, W., Zhang, J., & Yu, Z. (2023). A bibliometric analysis of the use of the metaverse in education over three decades. *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)*, 19(1), 1-16. doi:10.4018/IJICTE.322101
- Çelik, Z., Dülek, B., Aydın, İ., & Saydan, R. (2022). Metaverse: Bibliyometrik analiz, kavramsal bir model önerisi ve pazarlama odaklı bir yaklaşım. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(24), 383-394. doi:10.29029/busbed.1114777
- Damar, S., & Koksalmis, G. H. (2024). A bibliometric analysis of metaverse technologies in healthcare services. *Service Business*, 1-32. doi:10.1007/s11628-024-00553-3
- Dertli, Ş. (2021). *Turizm pazarlaması uygulamalarında organik tarım ürünlerinin etkisi: Erzurum ili örneği*. Yüksek Lisans Tezi, Bayburt Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bayburt.
- Dertli, Ş., & Belli, E. (2023). Spor, Sosyoloji ve Psikoloji ilişkisini ele alan lisansüstü tez çalışmalarının bibliyometrik incelemesi. *Erzurum Teknik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*(16), 1-21. doi:10.29157/etusbed.1134152
- Dertli, Ş., & Dertli, M. E. (2023a). Metaverse ve endüstri 4.0'ın sporcu beslenmesi ve fiziksel aktivite üzerindeki etkisi. F. Kıyıcı, Y. S. Biricik, & V. Alaeddinoğlu (Eds.), *Dijital Çağda Spor Araştırmaları II* (s. 33-52). Özgür Yayınları. <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub223>
- Dertli, Ş., & Dertli, M. E. (2023b). Metaverse'ün Yeşil Lojistik ve Yeşil Girişimcilik Üzerindeki Etkilerinin Değerlendirilmesi. *3rd International Symposium on Sustainable Logistics "Digitalization"*, (s. 63-64). Mersin: Toros Üniversitesi.
- Dertli, Ş., & Dertli, M. E. (2024). Yapay zekâ ve sürdürülebilirlik ilişkisi üzerine doktora tezlerinin bibliyometrik profili. *Uluslararası Davranış, Sürdürülebilirlik Ve Yönetim Dergisi*, 10(19), 151-174. doi:10.54709/jobesam.1352374
- Duan, Y.-y., Zhang, J.-y., Xie, M., Feng, X.-b., Xu, S., & Ye, Z.-w. (2019). Application of virtual reality technology in disaster medicine. *Current medical science*, 39, 690-694. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11596-019-2093-4>
- Ercan, F. (2022). Metaverse teknolojisinin gelecekte turizm sektörüne olası etkilerini belirlemeye yönelik bir araştırma. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 22(4), 1063-1092. doi:10.18037/ausbd.1225882
- Feng, X., Wang, X., & Su, Y. (2024). An analysis of the current status of metaverse research based on bibliometrics. *Library Hi Tech*, 42(1), 284-308. doi:10.1108/LHT-10-2022-0467
- Gazelci, S. C., & Aksoy, M. (2024). Türkiye'de oluşturulan teorik gastronomi rotalarının bibliyometrik analizi. *Seyahat Ve Otel İşletmeciliği Dergisi*, 21(1), 149-167. <https://doi.org/10.24010/soid.1388600>

- Gök, A. G., & Öztürk, M. S. (2024). Türkiye’de Kadın Kooperatifleri üzerine çalışılan lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 8(1), 56-75. <https://doi.org/10.31200/makuubd.1438482>
- Johri, A., Joshi, P., Kumar, S., & Joshi, G. (2024). Metaverse for Sustainable Development in a bibliometric analysis and systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 435, 140610. doi:10.1016/j.clepro.2024.140610
- Kaba, B., & Gelişen, G. (2022). Metaverse ve sürdürülebilir akıllı şehir kavramları ve gelecek. 6th International Conference on Scientific Research. (s.904-909). Lankaran: Lankaran State University <https://lsu.edu.az/new/immg/YESEV%C4%B0%20K%C4%B0TAP.pdf>
- Karagöz Zeren, S. (2022). Metaverse turizmi: Turizmde metaverse konulu çalışmaların bilim haritalama teknikleri açısından değerlendirilmesi. *Journal of Tourism & Gastronomy Studies*, 10(3), 2771-2786. <https://doi.org/10.21325/jotags.2022.1115>
- Kılınc, M., Teke, O., Çukurbaşı, B., & Geriş, A. (2022). Engelli bireyler için tasarlanan sanal ortam çalışmalarının bibliyometrik analizi. *Engelsiz Bilişim 2022: Teknoloji Işığında Yaşam* (s. 79-94). Kriter Yayınevi. <https://scholar.google.com.tr/scholar?oi=bibs&cluster=5158306679197507271&btnI=1&hl=tr>
- Li, H., & Li, B. (2024). The state of metaverse research: a bibliometric visual analysis based on CiteSpace. *Journal of Big Data*, 11(1), 14. doi:10.1186/s40537-024-00877-x
- Marcuta, A., Tindeche, C., Tonea, E., Smedescu, C., Smedescu, D., & Marcuta, L. (2023). Metaverse and the global economy. metaverse and agriculture-a bibliometric analysis. *Scientific Papers Serie Management, Economic Engineering in Agriculture and Rural Development*, 23(3), 529-548.
- Mehta, M., Pancholi, G., & Saxena, D. A. (2023). Metaverse changing realm of the business world: a bibliometric snapshot. *Journal of Management Development*, 42(5), 373-387. doi:10.1108/JMD-01-2023-0006
- Murathan, M., Murathan, F., & Bozyılan, E. (2020). “Fiziksel aktivite” konulu tezlerin bibliyometrik analizi (2002-2019). *Beden Eğitimi ve Spor Bilimleri Dergisi*, 14(2), 158-167. <https://dergipark.org.tr/en/pub/bsd/issue/56097/713528>
- Nguyen, H. S., & Voznak, M. (2024). A bibliometric analysis of technology in digital health: Exploring health metaverse and visualizing emerging healthcare management trends. *EEE Access*, 12, 23887-23913. doi:10.1109/ACCESS.2024.3363165
- Özispä, N., & Akdaş, O. (2019). Dijital dönüşüm konusunda yapılmış çalışmaların lisansüstü tezlere dayalı bibliyometrik analizi. *Mersin Üniversitesi Denizcilik ve Lojistik Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 60-75.
- Öztürk, G., & Koç, F. (2024). Gastronomiyi konu alan ulusal doktora tezlerinin bibliyometrik analizi. *Karadeniz Turizm Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 25-50.
- Piñeiro-Chousa, J., López-Cabarcos, M. A., VittoriRomero, V., & Pérez-Pérez, A. (2024). Evolution and trends of the metaverse in business and management: A bibliometric analysis. *Review of Managerial Science*, 1-26. doi:10.1007/s11846-024-00741-5
- Rejeb, A., Rejeb, K., & Treiblmaier, H. (2023). Mapping metaverse research: identifying future research areas based on bibliometric and topic modeling techniques. *Information*, 14(7), 356. doi:10.3390/info14070356
- Saymer, B. (2023). Kendini sabotaj üzerine yazılan lisansüstü tezlerin bibliyometrik analizi. *Akademik Hassasiyetler*, 10(22), 194-230. doi:10.58884/akademik-hassasiyetler.1308051
- Shen, J., Zhou, X., Wu, W., Wang, L., & Chen, Z. (2023). Worldwide overview and country differences in metaverse research: a bibliometric analysis. *Sustainability*, 15(4), 3541. doi:10.3390/su15043541
- Soysal, T. (2023). Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının ceza hukuku üzerindeki olası etkileri üzerine bir deneme. *Türkiye Adalet Akademisi Dergisi*(53), 169-246. doi:10.54049/taad.1231807
- Şengün, E., & Gerekten, S. E. (2023). Klasik gitar öğretimine dönük hazırlanmış makaleler üzerine bir açıklamalı bibliyografya (2012-2022) . *Eurasian Journal of Music and Dance*(19), 1-19. doi:10.31722/ejmd.1283579
- Tas, N., & Bolat, Y. İ. (2022). Bibliometric mapping of metaverse in education. *International Journal of Technology in Education*, 5(3), 440-458. doi:10.46328/ijte.323
- Tlili, A., Huang, R., Shehata, B., Liu, D., Zhao, J., Metwally, A. H., . . . Burgos, D. (2022). Is Metaverse in education a blessing or a curse: a combined content and bibliometric analysis. *Smart Learning Environments*, 9(1), 1-31. doi:10.1186/s40561-022-00205-x
- Usta, A. (2011). Bilimsel araştırmalarda problematik: Projelendirme ve raporlaştırma. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 2(2), 176-197.

- Wider, W., Jiang, L., Lin, J., Fauzi, M. A., Li, J., & Chan, C. K. (2023). Metaverse chronicles: a bibliometric analysis of its evolving landscape. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 1-14. doi:10.1080/10447318.2023.2227825
- Yersüren, S., & Özel, Ç. H. (2020). Boş zaman ve rekreasyon konulu tezler üzerine bibliyometrik bir çalışma. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, 4(2), 1139-1159. doi:10.26677/TR1010.2020.387

## Creating a Lactation Model for 305-Day Milk Yield with Different Resampling Techniques (Bagging Mars) in Mars Modeling

Demet ÇANGA BOĞA<sup>1\*</sup> 

### Abstract

The main purpose of this research is to obtain a prediction model for milk yield by using Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) and Bagging MARS algorithms as a non-parametric regression technique. For this purpose, the effects on milk yield of 305 days were investigated by using lactation parameters in dairy cattle. In the study, 9337 lactation milk yield records belonging to 37 animals belonging to the 2022-2023 period were used and the data set was created by randomly ordering the animals. Data on milk yield results were analyzed with MARS and Bagging MARS algorithms. For dairy cattle; it was modeled with explanatory variables such as lactation month (month), service period (SP), last 7 days average milk yield (L7DMMY), animal's first birth age (FP), animal's age (Age), number of lactations (LN). Correlation coefficient ( $r$ ), coefficient of determination ( $R^2$ ), Adjusted  $R^2$ , Root of Square Mean Error (RMSE), standard deviation ratio (SD ratio), mean absolute percent error (MAPE), mean absolute for MARS algorithm estimating total average milk yield deviation (MAD) and Akaike Information Criteria (AIC) values are 0.9986, 0.997, 0.977, 0.142, 0.052, 0.2389, 0.086 and -88, respectively. Similar statistics for the Bagging MARS algorithm are 0.754, 0.556, 0.453, 1.8, 0.666, 3.96, 1.47, and 115, respectively. It has been observed that MARS and Bagging MARS algorithms provide correct results according to the goodness of fit statistics. In this study, it was revealed that MARS algorithm gave better results in milk yield modeling of 305-day lactation.

**Keywords:** Lactation, Milk yield, MARS, Dairy Cattle, Bagging.

## Süt Sığırlarında 305 Günlük Süt Verimi için Mars Modellemesinde Farklı Yeniden Örnekleme Teknikleri (Bagging Mars) ile Laktasyon Modeli Oluşturma

### Öz

Bu araştırmanın temel amacı, parametrik olmayan bir regresyon tekniği olarak Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Splines (MARS) ve Bagging MARS algoritmalarını kullanarak süt verimi için bir tahmin modeli elde etmektir. Bu amaçla çalışmada süt sığırlarında laktasyon parametreleri kullanılarak 305 günlük süt verimi üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada 37 tane hayvana ait 2022-2023 dönemine ait 9337 adet laktasyon süt verimi kaydı kullanılmış ve hayvanlar rastgele sıralanarak veri seti oluşturulmuştur. Süt verimi sonuçlarına ilişkin veriler MARS ve Bagging MARS algoritmaları ile analiz edilmiştir. Laktasyon ayı (month), Servis periyodu (SP), son 7 günlük ortalama süt verimi (L7DMMY), hayvanın ilk doğum yaşı (FP), hayvanın yaşı (Age), laktasyon sayısı (LN) gibi açıklayıcı değişkenler ile modellenmiştir. Toplam ortalama süt verimini tahmin eden MARS algoritması için korelasyon katsayısı ( $r$ ), belirleme katsayısı ( $R^2$ ), Düzeltilmiş  $R^2$ , Hata Kareler Ortalamasının Karekökü (RMSE), standart sapma oranı (SD oranı), ortalama mutlak yüzde hatası (MAPE), ortalama mutlak sapma (MAD) ve Akaike Bilgi Kriterleri (AIC) değerleri sırasıyla 0.9986, 0.997, 0.977, 0.142, 0.052, 0.2389, 0.086 ve -88'dir. Bagging MARS algoritması için benzer istatistikler sırasıyla 0.754, 0.556, 0.453, 1.8, 0.666, 3.96, 1.47 ve 115'tir. MARS ve Bagging MARS algoritmalarının uyum iyiliği istatistiklerine göre doğru sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada, MARS algoritmasının 305 günlük laktasyona ait süt verimi modellemesinde daha iyi sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Laktasyon, Süt verimi, MARS, Süt Sığırları, Bagging.

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration Department of Numerical Methods, Niğde, Türkiye, demetcangaboga@ohu.edu.tr

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 30.10.2023

Kabul/Accepted: 28.04.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Introduction

It is important to select animals with high milk yield in order to reach milk production in developed countries and to meet the milk needs of individuals in our country. The Holstein breed is very important for this purpose. Producers in Türkiye prefer farm breeds with higher meat and milk yields than local breeds, and the share of these breeds in the total cattle population is increasing every year. While 18.94% of the total number of Turkish cattle was 9.8 million in 2002, breeding, 44.45% crossbreed and 36.58% domestic cattle breeds, the total number of cattle in 2022 is approximately 17 million. The proportions of breeding cattle crossbred cattle and domestic cattle breeds in the total are 49.2%, 43.4% and 7.3%, respectively (TUIK, 2023).

Lactation period, on the other hand, is the period from starting to ending of the milking. The average lactation period of dairy cattle is 305 days. This period may vary depending on care and feeding (Özyurt and Özkan, 2009). It is imperative to take into account their reproductive performance, which affects the productivity of dairy cows and has a major impact on the profitability of dairy production establishments. To this end; In many studies, calving interval, pregnancy rate, insemination number for pregnancy, service period, first insemination and first calving age have been used to evaluate reproductive performance (Bayril and Yilmaz, 2017; Boğa and Boğa, 2022; Çanga and Boğa, 2022; Doğan, 2003; Mee, 2004; Şahin and Ulutaş, 2010). Lactation curves can be used to calculate lactation continuity, which indicates the animals' ability to maintain a constant milk yield. Various methods have been proposed for calculating lactation persistence, but there is still no standard method. In studies conducted in different years on the average milk yield of 305 days in Holstein cows in Türkiye, varying results have been reported over the years (Gürses and Bayraktar, 2012; Omar, 2022; Orhan, Çetin Teke, and Karcı, 2018; Şahin and Ulutaş, 2010; Sarar and Tapkı, 2017; Yaylak and Kumlu, 2005).

However, many researches made have been done on milk production modeling and various models have been developed to explain the relationship between control day and milk production (Bayril and Yilmaz, 2017; Eydurhan, Yilmaz, Tariq, and Kaygisiz, 2013; Orhan et al., 2018). MARS (Multivariate Adaptive Regression Spline) decomposes multivariate nonlinear models and offers the ability to be explained by linear models (Grzesiak et al., 2010), described cows inseminated using statistical and machine learning methods (classification functions, logistic regression, neural networks and MARS). It was determined that the best results were obtained with artificial neural networks (ANN) and MARS methods. MARS, which will be used in this research, decomposes multivariate nonlinear models and offers the opportunity to be explained with linear models (Çanga, 2022; Faraz et al., 2021). Faraz et al., (2021), in their study, modeled with MARS, which is a non-linear method to estimate the body weight (BW, kg) of bovine animals. It has been reported that



models with high predictive power were obtained with the sheep's body length (BL, cm) and chest circumference (CG, cm) as explanatory variables with the model they presented. In this study, MARS data mining algorithm, which performs the best estimation among statistical methods, was used. The MARS data mining algorithm, which is an embodiment of the CART (Classification and Regression Tree) algorithm, does not require any assumptions about the distribution of the variables. However, the fact that it does not require a functional hypothesis between dependent and independent variables distinguishes this algorithm from other previously used algorithms (Turhan, 2020; Iqbal et al., 2021).

Re-sampling clustering (Bagging=Bootstrap+Aggregating) is an effective method specified by various classifications and regressions to improve prediction accuracy in large data sets. Resampling clustering can be used as a tool to reduce the variance of a predictor and increase the stability and power of predictions (Çanga and Boğa, 2020; Celik and Yilmaz, 2021; Otok, Putra, Sutikno, and Yasmirullah, 2020; Şengül et al., 2022). When the literature is reviewed, many researches have been done on milk production modeling and various models have been developed to explain the relationship between control day and milk production (Alıç, 2007; Bilgiç, 1999; Çetin and Alkoyak, 2018; Doğan, 2003; Orhan and Kaygısız, 2002; Şahin and Ulutaş, 2010).

In this research, it is aimed to predict the future milk yields with the results obtained by making Bagging and MARS separately, with models with less errors. Milk yield was estimated by MARS method by using independent variables of lactation period, service period, average milk yield for the last 7 days, age at first birth, age of animal, number of lactations in dairy cattle in Holstein cows.

## **2. Materials and Methods**

The research material was created from Holstein dairy cattle raised in a cattle farm in Niğde Bor district. There are approximately 100 cattle in the collection in the enterprise, and the primary target in the enterprise is milk production, and meat production is also contributed by fattening male animals in the region. For this reason, milk production, breeding heifer breeding and fattening activities are carried out in the enterprise. A total of 9561 milk data, 37 of which were milkers, were used.

### **2.1. Animal Material**

The research material includes the 305-day milk yield of 37 Holstein dairy cattle calving between 2022 and 2023 in a cattle farm in Niğde-Bor district. Lactation month (month), service period (SP), last 7 days average milk yield (L7DMMY), age at first birth (FP), age of animal (Age), number of lactations (LN) were taken as basis in fertility records.

## 2.2. Statistical Analysis

Data on lactation results obtained from dairy cattle were analyzed with MARS and Bagging MARS algorithms. In the statistical modeling studies conducted in the last ten years, the prediction performances of decision trees, artificial neural networks and MARS algorithms have been comparatively examined. The MARS algorithm, which is a modified version of the CART algorithm, has been the focus of attention of researchers in terms of defining the high-level relationships between the variables under consideration (Akin et al., 2020; Altay et al., 2022; Çanga, 2022; Çanga and Boğa, 2022; Tirink et al., 2022).

The MARS model was developed using the R software "earth" package and "ehaGoF" (Milborrow 2011; R Core Team 2024; Milborrow 2018; Eyduvan et al., 2019; Eyduvan and Gulbe 2020; Eyduvan and Duman 2020; Tirink et al., 2023). Among the observed and predicted values of in the study, the smallest GCV, SDRATIO, RMSE, MAPE, MAD, AIC, AICc and the MARS model with the highest determination coefficient ( $R^2$ ) and Pearson coefficient ( $r$ ) were accepted as the best.

### 2.2.1. Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS)

MARS algorithm used by Friedman (1991) to capture nonlinear relationships between predictors and response variable(s) is a powerful approach that does not require assumptions about functional relationships between dependent and input variables. The model that emerges as the weighted total basic function including the  $BF_i(x)$  function is given by Equation 1 below (Akin et al., 2020; Eyduvan et al., 2020; Çanga 2022; Çanga and Boğa 2020; Çelik et al., 2021).

$$y = \sum_{i=1}^k a_i BF_i(x) \quad (1)$$

Mars algorithm is formed by the linear breakdown of the basic function of  $BF_i(x)$  with the following equation.

$$BF_1 = \max(0, x - t) \begin{cases} x - t, x > t \\ 0, x \leq t \end{cases} \quad (2a)$$

$$BF_2 = \max(0, x - t) \begin{cases} x - t, x > t \\ 0, x \leq t \end{cases} \quad (2b)$$

Here,  $x$  is the variable range;  $t$  is the node. The linear combination of the basic functions obtained accordingly:

$$Y_i = a_0 + a_1 BF_1 + a_2 BF_2 + \dots + a_k BF_k$$

and the estimation equation is obtained. Here  $Y_i$  dependent variable,  $a_0$  intercept, and  $a_1, \dots, a_k$  are coefficients of the related basic functions (Everingham and Sexton 2011, Emamgolizadeh et al., 2015; Çanga and Boğa 2021; Çanga et al., 2021; Akin et al., 2020; Akın et al., 2021).

The fact that it does not require assumptions not only about the distribution of the variables but also about the functional relationships between the variables, as well as providing an equation that shows the high-dimensional relationships between the variables makes the MARS algorithm very popular. In the MARS method, generalized cross-validation error (GCV) is the best criterion for choosing the best model. Because GCV takes into account both errors and model complexity (Grzesiak et al., 2010).

Bagging a method first introduced by (Breiman, 1994) is used to increase the stability and power of the estimator by reducing the variance of an estimator. The Bagging MARS algorithm is based on creating the desired number of Bootstrap samples based on the original data set (Çanga and Boğa, 2020; Kulekçi et al., 2022). Many generated examples are derived from datasets. If changes in the dataset cause significant changes, bagging can increase sensitivity. So the basic idea of Bagging is to use resembling to create an estimator with multiple versions; here, after combining the objectives, the result should be better than a single predictive index created to solve the same problem. The bootstrap example is the training set, and the group of observations that are not included in the bootstrap example serves as the test set (Kulekçi et al., 2022). In order to talk about the reliability of the established MARS model, it is important that the generalization ability is good. However, MARS analysis can be performed using Bootstrap, one of the resampling methods (Akin et al., 2020).

### 2.2.2. A MARS Model Application

Earth and ehaGoF packages were used for the MARS model in the study. With the earth package, the same basic functions are generated for MARS prediction models created simultaneously for more than one dependent variable. As can be seen, MARS models produced with the *earth* package have different coefficients. To make this estimate, the Generalized cross-validation (GCV) method, a computational solution for linear models that provide an estimated exclusion cross-validation error metric, is used. According to the GCV criterion, MARS generalizes the model by eliminating the terms. GCV is given by Equation 2, a form of regulation that balances model complexity with the goodness of fit (Eyduvan et al., 2019; Akin et al., 2020; Akin et al., 2021; Çanga et al., 2021)

$$\text{GCV} = \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - \hat{y})^2}{\left(1 + \frac{c}{N}\right)^2} \quad (3)$$

Here,  $C = 1 + cd$ , is the number of items in the  $N$  dataset;  $d$  is a degree of freedom;  $c$  is the basic function addition penalty.  $y_i$  Is an independent variable and  $\hat{y}_i$  is an estimated value (Eyduran 2020; Akin et al., 2020).

### 2.2.3. Model validity:

The most common model fit criteria to be used in measuring the predictive accuracy of the MARS algorithm (Goodness of Fit Criteria) are the goodness of fit criteria such as R-square, RMSE and MAE mentioned below (Akin et al., 2020; Eyduran et al., 2019; Eyduran and Zaborski, 2017; Çanga et al., 2021; Nayana,et al., Chesneau, 2022). The model was evaluated according to these values.

Determination coefficient ( $R^2$ ):

It is the percentage of the total variation in the response variable explained by the regression line. The equation is expressed by X.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (a)$$

Where  $SSE = (y_i - \hat{y})^2$  is the sum of the squares of the differences between the predicted and the observed value, and  $SST = (y_i - \bar{y})^2$  is the sum of the squares of the differences between the observed and the overall average value.

The adjusted determination coefficient ( $Adj. R^2$ ) is calculated with the formula Equation 4b.

$$Adj. R^2 = 1 - \frac{R^2(n - 1)}{n - k - 1} \quad (4b)$$

It is preferred to be close to the  $R^2$  value. Average square error (RMSE), average estimation error (is the square root of the average square error). The formula is stated as follows:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2} \quad (5)$$

Average error (ME) is the average estimation error. It is less sensitive to outliers. It is given by the formula as follows

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}) \quad (6)$$

Mean absolute deviation (MAD) is the mean absolute estimate error. It is less sensitive to outliers. The formula is given as follows:

$$MAD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}| \tag{7}$$

Pearson correlation coefficient between actual values and estimated values in terms of a dependent variable (r),

$$PC = r_{y_i \hat{y}} = \frac{Cov(y_i, \hat{y})}{S_{y_i} S_{\hat{y}}} \tag{8}$$

$Cov(y_i, \hat{y})$ : The covariance between actual and predicted values in terms of a dependent variable,

$S_{y_i}$  : The standard deviation of the actual values of the dependent variable and

$S_{\hat{y}}$ : It refers to the standard deviation of the mined values of the dependent variable. Akaike information criterion (AIC)

$$AIC = n \ln \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 \right] + 2k; \text{ Eğer } \frac{n}{k} > 4 \tag{9a}$$

$$AIC_c = n \ln \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y})^2 \right] + 2k + \frac{2k(k+1)}{n-k-1}; \text{ otherwise} \tag{9b}$$

Standard deviation ratio ( $SD_{ratio}$ ):

$$SD_{ratio} = \frac{S_m}{S_d} \tag{10}$$

$S_m$ : Standard deviation of model error terms,

$S_d$  : The standard deviation of the dependent variable,

The standard deviation ratio is calculated with the SD ratio formula, and values less than 0.20 are preferred for biometric studies. The smaller it is, the more acceptable it is (Eyduran et al. 2017):

$\hat{F}_e(x)$  being the Mars prediction model; The bagging MARS model is as expressed in equation 10 (Breiman, 1994):

$$\hat{f}_{\text{Bagging MARS}} = \frac{1}{E} \sum_{i=1}^E \hat{F}_e(x) \tag{10}$$

### 3. Findings and Discussion

#### 3.1. Findings

Introductory statistics of continuous variables related to lactation yield used in the study are given in Table 1.

**Table 1.** Descriptive statistics of the studied explanatory variables.

	Month	SP	Total_yield	L7DMMY	LN	Age	FPA
Vars	1	2	3	4	5	6	7
n	9553	9552	9552	9533	9452	9312	9312
Mean	6.72	211.69	30.87	31.26	2.68	56.99	23.30
Standart Deviation	3.44	150.29	9.77	8.39	1.02	14.18	1.76
Median	7.00	193.00	30.40	30.91	3.00	65.00	23.00
MAD	4.45	149.74	8.64	7.12	1.48	2.97	1.48
Min	1	0	8.77	9.01	1.00	24.00	20.00
Max	12	691.00	79.18	116.78	5.00	71.00	27.00
Standard Error	0.04	1.54	0.10	0.09	0.01	0.15	0.02

Total yield: Total average milk yield of lactation; SP: Service Period, L7DMMY: mean milk yield for the last 7 days; LN: number of lactations; Age: Age of the animal, FPA: Age at first birth of the animal.

Introductory statistics related to independent variables such as milk yield and lactation period (month), age at first birth (FPA), age of animal (Age), number of lactations (LN) used in the study are given in Table2, Table3, Table4, respectively.

**Table2.** Descriptive statistics of monthly average milk yield and number of lactations

LN/Total yield	Mean± SE	N	Minimum	Maximum
1	24.43±0.249	1235	5	62
2	33.26±0.176	2885	1	71
3	28.98±0.166	3618	4	79
4	34.96±0.238	1383	3	68
5	31.99±0.248	432	6	66
Total	30.63±0.102	9653	1	79

In the study, a sample R script file was created for the data set. The data set of the studied lactation was first divided into two subsets, 70% training and 30% testing. Then, 50 bootstrap samples were created with the resampling method to obtain 3 MARS models using different sampling methods for the training set in order to determine the appropriate number of terms and the degree of interaction(Akin, Eyduran, and Eyduran, 2020).

The ehaGoF package was used to measure the prediction performance and generalization capabilities of the established models (Eyduran,2020).The data set obtained from approximately 10,000 data used in the research is important in terms of the reliability of the results obtained, working on large samples in data mining studies. Goodness of fit statistics calculated for MARS and Bagging MARS algorithms are given in Table 3. The prediction performances of MARS and Bagging MARS in predicting Total\_MY were evaluated comparatively. The results of the fit criteria are summarized in Table 3.

**Table 3.** Predictive performance of MARS and Bagging Algorithms

Methods	r	R <sup>2</sup>	Adj.R <sup>2</sup>	RMSE	SDratio	MAPE	MAD	AIC
<b>MARS</b>	0.988	0.968	0.968	10.204	0.178	1.374	4.846	143.073
<b>Bagging MARS</b>	0.762	0.436	0.435	7.364	0.751	4.515	5.405	735.927

**RMSE:** Root-mean-square error, **SD ratio:** Standard deviation ratio, **MAPE:** Mean absolute percentage error, **MAD:** Mean absolute deviation, **AIC:** Akaike Information Criteria

When Table 3 is examined, the order of superiority in the prediction accuracy of the mentioned algorithms is MARS > Bagging MARS according to the estimated model evaluation criteria. As can be seen, the prediction performance of the MARS algorithm was found to be better than Bagging MARS. The results of the MARS algorithm for cattle are presented in Table 4.

The model equation of the MARS algorithm is as follows. Total\_yield = 41.87 + 4.016 \* label13 + 3.385 \* label21 - 6.265 \* label4 + 2.017 \* label40 + 2.8 \* label45 - 1.392 \* Monthjune\_22 + 0.02707 \* max (0, 75 - SP) - 0.0177 \* max(0, SP - 75) + 0.02061 \* max(0, SP - 417) - 0.2831 \* max (0, L7DMMY - 32.32) - 0.7361 \* max(0, 41.5 - L7DMMY) + 0.4114 \* max(0, L7DMMY - 41.5) - 0.1251 \* max(0, 66 - Age) - 0.4353 \* max(0, Age - 66) + 0.9208 \* max(0, 22 - FPA) + 0.3967 \* max(0, FPA - 22)

**Table 4.** Coefficients of the MARS model and results of MARS analysis

Terms	Basis Functions (BF <sub>i</sub> )	Coefficients
	Intercept	41.87
BF1	Label13	4.016
BF2	Label21	3.385
BF3	Label4	- 6.265
BF4	Label40	2.017
BF5	Label45	2.8
BF6	Monthjune_22	-1.392
BF7	max(0, 75 - SP)	0.02707
BF8	max(0, SP - 75)	-0.0177
BF9	max(0, SP - 417)	0.02061
BF10	max(0, 41.5 - L7DMMY)	-0.7361
BF11	max(0, L7DMMY - 41.5)	0.4114
BF12	max(0, 66- Age)	-0.1251
BF13	max(0, Age - 66)	-0.4353
BF14	max(0, 22 -FPA)	0.9208
BF15	max(0, FPA - 22)	0.3967

Among the independent variables, the most important and highest positive effects are the variables belonging to Label13, Label21, Label40 cattle, respectively. When the variable numbered Label 13 is selected, that is, label 13=1, an increase of 4.016 units is expected in the total milk yield (Total\_MY)(Table3). Similarly, when Table 4 is examined; When the variable label 4 is selected, that is, when Label 4=1, a decrease of 6.265 units is expected in the total milk yield (Total\_MY).In addition, when the seventh term max(0, 75 - SP) and positive coefficient(0.02707) for Total\_MY of the service period (SP) are examined; For a variable with SP= 75 months or SP > 75, the positive effect of the service period (due to the coefficient) on Total\_MY will be masked. However, for a variable with SP<75, the time to last calving (SP) is expected to have an increasing effect (due to the coefficient) on Total\_MY. Although the SP value is 1 unit less than 75 months, an increase of 0.02707 liters is expected in the Total\_MY amount. The relative importance values of the independent variables are presented in Table 5. As seen in Table 5, the highest importance values are respectively; L7DMMY (100%), SP (28.6%), Label13 (22.8%), Age (20.3%), label21 (15.3%), Label4 (12.3%), Monthjune\_22 (12.3%), Label4 (12.3%), Label4 (Obtained for 9.6%, label40 (8.3%), label45 (7.1%), FPA (5.3%)



**Table 5.** Relative importance of independent variables in the model

Variables	Nsubsets	GCV	RSS
L7DMMY	16	100.00	100.00
SP	15	28.6	29.9
Label13	14	22.8	24.3
Age	13	20.3	21.9
label21	11	15.3	17.1
label4	9	12.3	14.1
Monthjune_22	6	9.6	11.2
label40	5	8.3	9.8
label45	4	7.1	8.5
FPA	3	5.3	6.7

(Akin, Eyduran, Eyduran, and Reed, 2020) and some previous authors (Boğa and Boğa, 2022; Çanga and Boga, 2019; Çanga and Boğa, 2022; Çelik et al., 2021; Turhan, 2020) and, as highlighted by the results of the current study, predicted that MARS captures linear, nonlinear and interaction effects of important factors in regression-type problems. This difference can be attributed to the overfitting problem that may occur in MARS. The problem is that the MARS model contains redundant terms that reduce the predictive quality. Therefore, redundancies should be removed from the MARS model, which has the maximum complexity in the forward transition, by using the backward pruning method (Eyduran et al., 2019). The best way to understand the overfitting problem is to estimate the  $R^2$  values for Cross-validation, training and test sets (Grzesiak and Zaborski, 2012), emphasized that if the standard ratio value of an established regression model is 0.10 or 0.40, there is good or very good fit. When Table 6 is examined, all coefficients for milk yield were found to be statistically very significant.

**Table 6.** Results of the MARS algorithm

<i>Coefficients:</i>	<i>Estimate Std</i>	<i>Std. Error</i>	<i>t value</i>	<i>Pr(&gt; t )</i>
(Intercept)	41.872269	0.347857	120.372	< 2e-16 ***
bx[, -1]max (L7DMMY-41.5014)	0.411366	0.062027	6.632	3.50e-11 ***
bx[, -1]max (41.5014-L7DMMY)	-0.736077	0.024382	-30.189	< 2e-16 ***
bx[, -1]max (SP-75)	-0.017704	0.001196	-14.800	< 2e-16 ***
bx[, -1]max (75-SP)	0.027067	0.005402	5.010	5.53e-07 ***
bx[, -1] max(Age-66)	-0.435297	0.107400	-4.053	5.10e-05 ***
bx[, -1] max(66-Age)	-0.125130	0.010561	-11.848	< 2e-16 ***
bx[, -1] label13	4.016018	0.453965	8.847	< 2e-16 ***
bx[, -1]Label21	3.385252	0.471059	7.186	7.16e-13 ***
bx[, -1]max (SP-417)	0.020615	0.002866	7.192	6.88e-13***
bx[, -1] label4	-6.265041	0.939251	-6.670	2.70e-11***
bx[, -1]max (FPA-22)	0.396662	0.087689	4.524	6.16e-06 ***
bx[, -1] max(22-FPA)	-1.391727	0.195930	4.700	2.64e-06***
bx[, -1] Monthjune_22	-1.922e+01	0.263221	-5.287	1.27e-07***
bx[, -1] max(L7DMMY-32.3214)	-0.283084	0.049394	-5.731	1.03e-08***

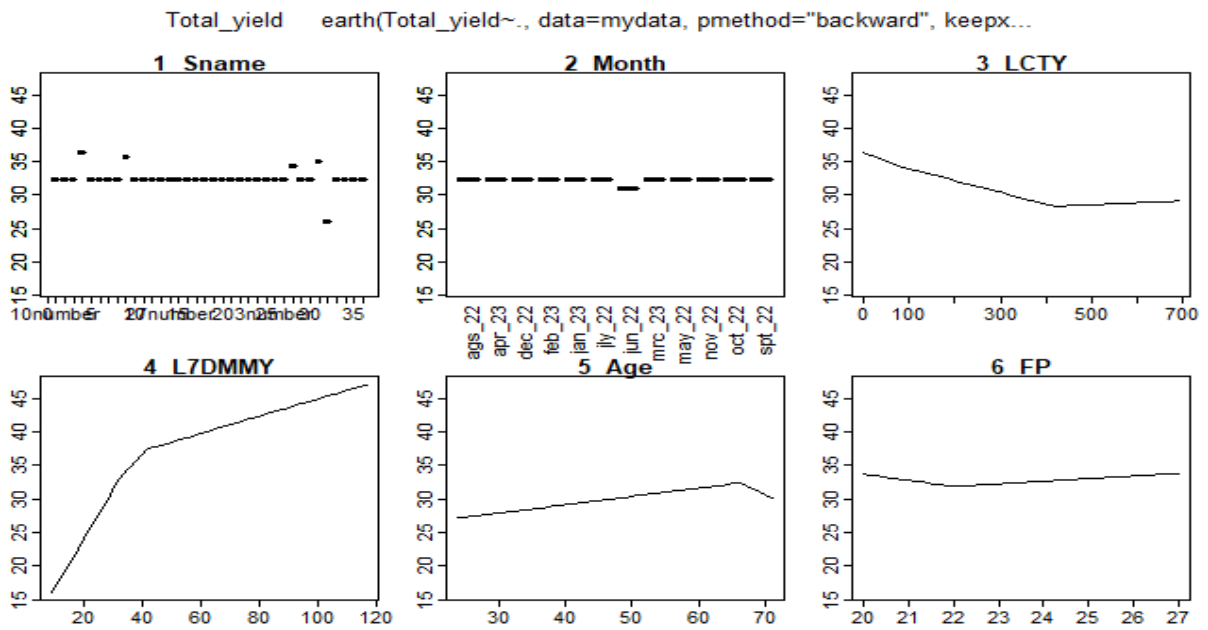
bx[, -1]label45	2.799577	0.557498	5.022	5.22e-07 ***
bx[, -1]label40	2.016650	0.472066	4.272	1.96e-05 ***
Significance codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				

The prediction equation of the Bagging MARS algorithm is as follows:

$$\begin{aligned}
& 34.07 - 2.30 * \text{label11} + 2.39 * \text{label13} - 5.68 * \text{label37} - 6.63 * \text{label4} + 2.04 * \text{label40} - 3.33 \\
& * \text{label43} - 1.78 * \text{LN3} + 0.01 * h(410 - \text{SP}) - 0.60 * h(39.31 - \text{L7DMMY}) + 0.24 * h(\text{L7DMMY} - 39.31) \\
& - 0.11 * h(66 - \text{Age}) \\
& + 43.83 + 2.35 * \text{label13} - 6.63 * \text{label37} - 8.32 * \text{label4} + 2.70 * \text{label45} + 1.44 * \text{Monthfeb\_23} \\
& + 2.26 * \text{Monthmarch\_23} + 1.60 * \text{LN2} + 0.03 * h(71 - \text{SP}) - 0.02 * h(\text{SP} - 71) + 0.02 * h(\text{SP} - 384) - \\
& 0.28 * h(\text{L7DMMY} - 33.35) + 11.67 * h(\text{L7DMMY} - 45.03) - 0.69 * h(45.30 - \text{L7DMMY}) - 11.65 * \\
& h(\text{L7DMMY} - 45.30) + 0.765 * h(\text{L7DMMY} - 78.55) - 0.12 * h(66 - \text{Age}) \\
& + 37.69 + 2.94 * \text{label13} + 3.39 * \text{label21} + 4.20 * \text{label24} - 8.21 * \text{label4} + 2.13 * \text{label40} + 5.70 \\
& * \text{label45} - 2.32 * \text{label9} - 2.09 * \text{Monthjune\_22} - 2.08 * \text{Monthmay\_22} - 1.13 * \text{Monthsept\_22} + \\
& 1.22 * \text{LN2} + 0.02 * h(379 - \text{SP}) - 0.02 * h(\text{SP} - 379) - 0.28 * h(\text{L7DMMY} - 34.18) - 1.22 * h(\text{L7DMMY} - \\
& 41.02) + 7.31 * h(\text{L7DMMY} - 44.53) - 0.64 * h(45.64 - \text{L7DMMY}) - 6.08 * h(\text{L7DMMY} - 45.64) + \\
& 0.76 * h(\text{L7DMMY} - 77.37) - 0.12 * h(66 - \text{Age}) / 3
\end{aligned}$$

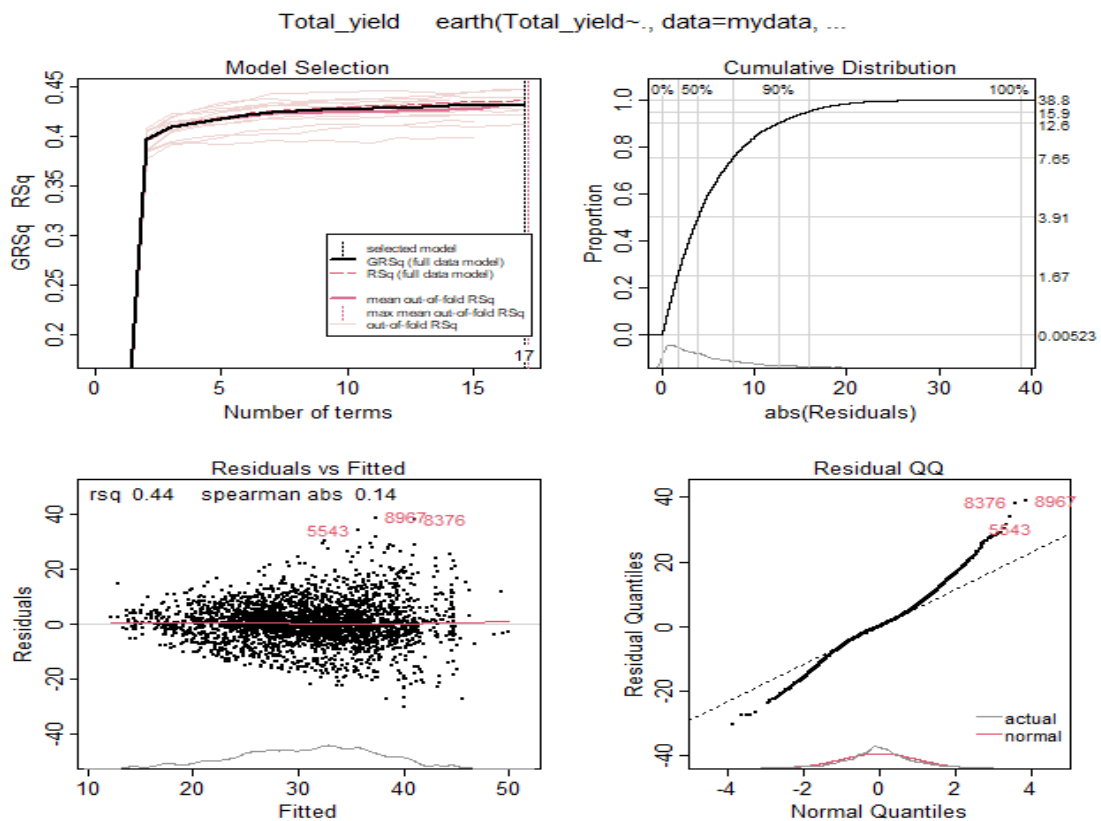
According to this obtained equation, in the first bootstrap equation, there is a negative decrease of 1.78266 units when lactation order = 3. The highest negative effect (- 6.634773) was caused by the variable number 4 on the label, while an increase of 0.0168345 units was observed when  $\text{SP} < 410$ , while a negative effect of -0.1068442 and -0.5982774 units was observed when  $\text{L7DMMY} < 39.31$ , respectively. In the second bootstrap equation, Monthfeb\_23 (1.444099), Monthmarch\_23 (2.268667), LN2(1.603694) contribute positively, while minor reduction is expected when  $\text{Age} \leq 66$  in all three bootstrap equations. The relationship between the predicted and observed predictive values of the Bagging MARS algorithm is shown in Figure 1.

In the Bagging MARS model, there is a binary interaction between the variables.



**Figure 1.** Relationship graphs between dependent variable and independent variables in Bagging Mars

Model selection, cumulative distribution of absolute errors, error values, distribution of predicted values and error QQ graphs of normal distribution of error values are given below for the MARS model selected according to cross validation instead of GCV(Figure2).



**Figure2.** Bagging MARS Model selection and graphs of error terms

### 3.2. Discussions

In the study, the effect of 4 different parameters (average milk yield in the last 7 days, service period, animal number 13, Age) on milk yield in cattle was found to be significant (Table 5). In this study, when the reproductive characteristics of cattle are examined; For the MARS model estimation equation for optimum milk yield, the corresponding optimum values for the independent variables Label, Month, SP, L7DMMY, LN, Age, FPA, respectively; 20, feb\_23, 194(day), 30,96286(lt), 3, 65(month), 23(month). These threshold values, which are created by the multi-response MARS model equation that constitute the basic functions, are the most common (Akin et al., 2020; Akin et al., 2020).

First gestational age, starting the productive life of heifers as early as possible is one of the factors that directly affect the profitability of the enterprises and this value varies according to the breeds. In this study, when we subtract the gestational age from the average gestational age (FPA), which was calculated as 23 months for the Holstein breed, the gestational dates for the first of the animals can be determined as an average of 14 months. These values are in agreement with the averages reported by the mean for the same breed (16.5, 18.3 months, and 16.8 months, 14.9, respectively (Alkoyak, 2016; Asan, 2021; Çetin and Alkoyak, 2018; Eyduran et al., 2008; Omar, 2022). The found service period obtained in this study was found to be 123 days and this value was 127 days in the study conducted by (Gürses and Bayraktar, 2012). Gürses and Bayraktar (2012) in TİGEM Ceylanpınar, Dalaman, Koçaş and Tahirova Agricultural Enterprises, on the same breed, while it was 127 days in Aydın province In the study conducted by the company Gürses (2019), (Gürses, 2019) it is shorter as 144 days; In the study conducted by Sarar and Tapkı (2017) (Sarar and Tapkı, 2017) in Koçaş Agricultural Enterprise, 106 days; In a study conducted by Arı (2019) in a private enterprise in Aydın province, 109 days, (Arı, 2019, Kopuzlu et al., 2008). Kopuzlu et al. (2008) in the Eastern Anatolia Agricultural Research Institute, it was found to be 119.9 days, (Omar, 2022) as 73.19 days by Omar (2022). Omar (2022) which is higher than the averages reported in the same breed.

Goodness-of-fit statistics are important in comparing data mining and other statistical methods used to predict any trait in cattle as well as in all animals. In recent years, many studies have used MAE, mean square error (MSE),  $AdjR^2$  to compare artificial neural network, MARS, correlation coefficient (r), RMSE and mean absolute models. and Akaike information criteria (AIC) statistics were used (Akin et al., 2020; Altay et al., 2022; Boğa and Boğa, 2022; Çanga, 2022; Çanga and Boga, 2019; Çanga and Boğa, 2022; Eyduran et al., 2019; Eyduran et al., 2020; Kulekçi et al., 2022; Şengül et al., 2022; Tirink et al., 2022). Although the goodness of fit statistics used by the authors in their studies are similar, the conditions for using the MARS method and the calculation conditions, correlation coefficient and RMSE statistics differ. In terms of the results obtained with other methods

and several different goodness-of-fit statistics used, the dependent variable was estimated (Şengül et al., 2022). Şengül et al. (2022) reported that the final body weights of Kıvırcık lambs were evaluated on the basis of MARS and Bagging MARS algorithms, and showed excellent performance as a robust algorithm without overfitting (Akin, Eydur, Eydur, et al., 2020). Akin et al. (2020) predicted that MARS captures linear, nonlinear and interaction effects of important factors in regression-type problems, as emphasized by some previous authors (Eydur et al., 2020; Öztürk, 2022) and those obtained in the current study.

In the current study, the average milk yield according to the lactation order in Table 2 varies between 24.43 and 34.96 (Omar, 2022). In the study of Omar (2022) the milk yield of Holstein and Simmental cattle was calculated as 305 days milk yield as 9690.02. When this result is divided by 305 days to calculate the average daily milk yield, it is  $9690.02/305=31.71$ , which is consistent with this value. In different studies conducted between 2005-2021 (Asan, 2021; Çetin and Alkoyak, 2018; Genç and Soysal, 2018; Keskin and Boztepe, 2011; Şahin and Ulutaş, 2010; Sarar and Tapkı, 2017; Tırnk, 2021; Yaylak and Kumlu, 2005) was reported to vary between 5395.11-8264.70 kg and these values are among the values of the current study.

#### **4. Conclusions and Recommendations**

Considering the results of this research, it was revealed that MARS algorithm gave better results in milk yield modeling of 305-day lactation. Many of the generated samples are derived from datasets, increasing the bagging precision. Thus, it is possible to compare the goodness of fit criteria by using resampling to create an estimator with more than one version. It is expected that this study will inspire data mining research that want to discuss the results using MARS and Bagging MARS algorithms in the future.

#### **Acknowledgements**

The author would like to thank Dr. Mustafa Boğa for his animal experiments and his contributions to making measurements during the experiment.

#### **Funding Support**

There is no funding source.

## Competing of Interest

The author declared no competing interests.

## Author Contributions

DÇB conceived and supervised the study. DÇB statistical analysis and writing the manuscript. DÇB contributed to the critical revision of the manuscript and have read and approved the final version.

## References

- Akin, M., Eydurán, S. P., and Eydurán, E. (2020). *R Yazılımı ile Tarım Bilimlerinde Regresyon ve Sınıflandırma Tipi Problemlerin Çözümünde Mars Algoritması* (1st Editio). Nobel Academic Publishing.
- Akin, M., Eydurán, S. P., Eydurán, E., and Reed, B. M. (2020). Analysis of macro nutrient related growth responses using multivariate adaptive regression splines. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 140(3), 661–670. <https://doi.org/10.1007/S11240-019-01763-8>
- Alıç, D. (2007). *Siyah Alaca İneklerde Dış Yapı Özellikleri, Sürüde Kalma Süresi ve Süt Verimi Üzerine Araştırmalar*. Ankara University.
- Alkoyak, K. (2016). *Farklı orijinli holştaynların döl ve süt verimi özellikleri*. Selçuk Üniversitesi.
- Altay, Y., Aytakin, İ., and Eydurán, E. (2022). *Use of Multivariate Adaptive Regression Splines , Classification Tree and Roc Curve in Diagnosis of Subclinical Mastitis in Dairy Cattle Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society. April*. <https://doi.org/10.12681/jhvms.25864>
- Arı, Ç. (2019). *Aydın İlinde özel bir süt sığırı işletmesinde yetiştirilen Simmental ve Kırmızı Alaca sığırların süt ve döl verimi ile süt kalite özellikleri*. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi.
- Asan, H. (2021). *Burdur' da pard programı kapsamında bulunan holştayn ve simental işletmelerinin verimler ve karlılık bakımından değerlendirilmesi*. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi.
- Bayril, T., and Yılmaz, O. (2017). Holştayn Sütçü İneklerde Süt Verim Performanslarına Buzağı Cinsiyeti , Servis Periyodu , Doğum Sayısı ve Buzağılama Mevsiminin Etkisi. *Dicle Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 89–94.
- Bilgiç, N. (1999). *Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Zootekni Bölümü Sığırcılık İşletmesinde Yetiştirilen Siyah Alaca İneklerde Bazı Süt ve Döl Verimi Özellikleri Some Milk and Breeding Characteristics of Hoistein Friesian Cows Raised at the Dairy Farm of the*. 5(2), 81–84.
- Boğa, D. Ç., and Boğa, M. (2022). Investigation of Estimation of Lactation Milk Yield in Dairy Cattle Using Nonlinear Regression Models Cart And Mars. In K. N. ÇELİK Şenol and F. ÇEMREK (Eds.), *Veri madenciliği ve makine öğrenmesi ile farklı alanlarda uygulamalar* (pp. 73–98). Holstence Publications.
- Breiman, L. (1994). *Bagging Predictor*.
- Çanga, D. (2022). Use of Mars Data Mining Algorithm Based on Training and Test Sets in Determining Carcass Weight of Cattle in Different Breeds. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 28(2), 259–268. <https://doi.org/10.15832/ankutbd.818397>
- Çanga, D., and Boga, M. (2019). Use of MARS in livestock and An application. *Use of MARS in Livestock and an Application*, 31–37.
- Çanga, D., and Boğa, M. (2020). Determination of the Effect of Some Properties on Egg Yield with Regression Analysis Met-hod Bagging Mars and R Application Yumurta Verimi Üzerine Bazı Özelliklerin Etkisinin Regresyon Analiz Yöntemlerinden Bagging Mars ile Belirlenmesi ve R Uygulaması. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(8), 1705–1712.
- Çanga, D., and Boğa, M. (2022). Detection of correct pregnancy status in lactating dairy cattle using MARS data mining algorithm. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 46(6), 809–819.

<https://doi.org/10.55730/1300-0128.4257>

- Çanga, D., Yavuz, E. and Efe, E. (2021). Prediction of Egg Weight Using MARS data mining Algorithm through R. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 24 (1) , 242-251 . DOI: 10.18016/ksutarimdog.vi.716880
- Çelik, Ş., Eydur, E., Şengül, A. Y., and Şengül, T. (2021). Relationship among egg quality traits in Japanese quails and prediction of egg weight and color using data mining algorithms. *Tropical Animal Health and Production*, 53(3). <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02811-2>
- Celik, Ş., and Yilmaz, O. (2021). The Relationship Between the Coat Colors of Kars Shepherd Dog and its Morphological Characteristics Using Some Data Mining Methods. *International Journal of Livestock Research*, 11(1), 53–61. <https://doi.org/10.5455/ijlr.20200604>
- Çetin, O., and Alkoyak, K. (2018). Farklı orijinli holştaynların döl ve süt verimi özellikleri 2. süt verimi özellikleri. *Eurasian Journal of Veterinary Sciences*, 34(2), 123–130. <https://doi.org/10.15312/eurasianjvetsci.2018.191>
- Doğan, İ. (2003). Holştayn ırkı ineklerde süt verimine etki eden faktörlerin CHAID analizi ile incelenmesi. *Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 50(1), 065–070. [https://doi.org/10.1501/vetfak\\_0000002231](https://doi.org/10.1501/vetfak_0000002231)
- Eyduran, E. (2020). *Package 'ehaGoF.'* <https://cran.r-project.org/package=ehaGoF>.
- Eyduran, E. and Gulbe, A. (2020). ehaGoF: Calculates Goodness of Fit Statistics. R package version 0.1.0 2019. <https://CRAN.R-project.org/package=ehaGoF>
- Eyduran, E., Akin, M., and Eydur, S. P. (2019). *Application of Multivariate Adaptive Regression Splines through R Software* (1st edition). Nobel Academic Publishing,.
- Eyduran, E., Karakus, K., Keskin, S., and Cengiz, F. (2008). Determination of factors influencing birth weight using regression tree (Rt) method. *Journal of Applied Animal Research*, 34(2), 109–112. <https://doi.org/10.1080/09712119.2008.9706952>
- Eyduran, E., Yakubu, A., Duman, H., Aliyev, P., and Tırınk, C. (2020). Predictive modeling of multivariate adaptive regression splines: An R Tutorial. In *Veri Madenciliği Yöntemleri: Tarım Alanında Uygulamaları* (pp. 25–48). Rating Academy Ar-Ge Yazılım Yayıncılık Eğitim Danışmanlık ve Organizasyon Ticaret Limited Şirketi.
- Eyduran, E., Yilmaz, I., Tariq, M. M., and Kaygisiz, A. (2013). Estimation of 305-d milk yield using regression tree method in brown Swiss cattle. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 23(3), 731–735.
- Eyduran, E., and Zaborski, D. (2017). Comparison of the Predictive Capabilities of Several Data Mining Algorithms and Multiple Linear Regression in the Prediction of Body Weight by Means of Body Measurements in the Ind... *Pakistan Journal of Zoology*, 49(1), 257–265. <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.1.257.265>
- Faraz, A., Tirink, C., Eydur, E., Waheed, A., Tauqir, N. A., Nabeel, M. S., and Tariq, M. M. (2021). Prediction of live body weight based on body measurements in Thalli sheep under tropical conditions of Pakistan using cart and mars. In *Tropical Animal Health and Production* (Vol. 53, Issue 2). <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02748-6>
- Genç, S., and Soysal, M. İ. (2018). Türkiye Siyah Alaca Sığır Populasyonlarında Süt ve Döl Verimi \* Milk Yield and Reproductive Traits of Holstein Cattle Population in Turkey \* Giriş Materyal ve Yöntem Materyal. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 15(01).
- Grzesiak, W., and Zaborski, D. (2012). Examples of the Use of Data Mining Methods in Animal Breeding. In *Data Mining Applications in Engineering and Medicine* (pp. 304–321). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/50893>
- Grzesiak, W., Zaborski, D., Sablik, P., Zukiewicz, A., Dybus, A., and Szatkowska, I. (2010). Detection of cows with insemination problems using selected classification models. *Computers and Electronics in Agriculture*, 74(2), 265–273. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2010.09.001>
- Gürses, M., and Bayraktar, M. (2012). Some milk production and reproductive traits of Holstein cattle raised in different regions of Turkey. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 18(2), 273–280. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2011.5424>
- Gürses, R. (2019). *İlk laktasyondaki kırmızı-alaca ve siyah-alaca sığırlarda süt ve döl verimi ile süt kalite özellikleri üzerine bir araştırma*. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi.
- Iqbal, F., Eydur, E., Raziq, A., Ali, M., Zil-e-Huma, Tirink, C., and Sevgenler, H. (2021). Modeling and predicting the growth of indigenous Harnai sheep in Pakistan: non-linear functions and MARS algorithm. *Tropical Animal Health and Production* 2021 53:2, 53(2), 1–12. <https://doi.org/10.1007/S11250-021-02700-8>
- Keskin, İ., and Boztepe, S. (2011). Siyah Alaca Sığırlarda Kısmi Süt Verimlerinden Yararlanılarak 305 Günlük

- Süt Veriminin Tahmini. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 8(1), 1–8.
- Kopuzlu, S., Emsen, H., Özlütürk, A., and Küçüközdemir, A. (2008). Esmer ve Siyah Alaca Irkı Sığırların Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Şartlarında Döl Verim Özellikleri. *Lalahan Hay. Araşt. Enst. Derg.*, 48(1), 13–24.
- Kulekçi, M., Eydurhan, E., Altın, A. Y., and Tariq, M. M. (2022). Usefulness of MARS and Bagging MARS Algorithms in Prediction of Honey Production in Beekeeping Enterprises from Elazığ Province of Turkey. *Pakistan Journal of Zoology*, 54(3), 1087–1093.
- Mee, J. F. (2004). peer reviewed Correspondence : *Irish Veterinary Journal*, 57(4), 226–231.
- Milborrow, S. (2018). Milborrow. Derived from mda:mars by T. Hastie and R. Tibshirani. İnternet url: <https://CRAN.R-project.org/package=earth> (08.10.2018)
- Milborrow, S. (2011). Derived from MDA: MARS by T. Hastie and Tibshirani earth: Multivariate adaptive regression splines, R package.
- Nayana, B. M., Kumar, K. R., and Chesneau, C. (2022). Wheat Yield Prediction in India Using Principal Component Analysis-Multivariate Adaptive Regression Splines (PCA-MARS). *AgriEngineering 2022, Vol. 4, Pages 461-474, 4(2)*, 461–474. <https://doi.org/10.3390/AGRIENGINEERING4020030>
- Omar, M. Y. (2022). *Holstein ve Simmental İneklerde İlk Laktasyonda Süt Verimi, Pike Çıkma-Pikte Kalma Süreleri ve Süt Verimi Persistensleri ile Üreme Performanslarının Karşılaştırılması*. Bursa Uludağ Üniversitesi.
- Orhan, H., Çetin Teke, E., and Karıcı, Z. (2018). Laktasyon Eğrileri Modellemesinde Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (MARS) Yöntemi Uygulaması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Doğa Bilimleri Dergisi*, 21(3), 363–373. <https://doi.org/10.18016/ksudobil.334237>
- Orhan, H., and Kaygısız, A. (2002). Siyah Alaca Sığırlarda Farklı Laktasyon Eğrisi Modellerinin Karşılaştırılması. *Hayvansal Üretim*, 43(1), 94–99.
- Otok, B. W., Putra, R. Y., Sutikno, and Yasmirullah, S. D. P. (2020). Bootstrap aggregating multivariate adaptive regression spline for observational studies in diabetes cases. *Systematic Reviews in Pharmacy*, 11(8), 406–413. <https://doi.org/10.31838/srp.2020.8.59>
- Öztürk, S. T. B. (2022). Evaluation of - PM 10 concentration by using Mars and XGBOOST algorithms in Iğdır Province of Türkiye. *International Journal of Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04511-2>
- Özyurt, A., and Özkan, M. (2009). Orta Anadolu'da Yetiştirilen Siyah-Alaca Sığırlarda Laktasyon Eğri Şekli ve Eğriye Etkili Olan Faktörler. *Hayvansal Üretim*, 50(1), 31–37.
- R Core Team (2024). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, <http://www.R-project.org>
- Şahin, A., and Ulutaş, Z. (2010). Polatlı Tarım İşletmesinde Yetiştirilen Siyah Alaca İneklerde Süt ve Döl Verim Özellikleri. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 25(3), 202–212.
- Sarar, A. D., and Tapkı, İ. (2017). Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi Türkiye ' de Yetiştirilen Holştayn İneklerde Döl Verim Özelliklerine Ait. *Türk Tarım - Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(12), 1476–1481.
- Şengül, Ö., Çelik, Ş., and İbrahim, A. K. (2022). Determination of the Effects of Silage Type, Silage Consumption, Birth Type and Birth Weight on Fattening Final Live Weight in Kıvrıcık Lambs with MARS and Bagging MARS Algorithms. *Kafkas Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 28(3), 379–389. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2022.27149>
- Tırnk, C., Sariçiçek, Z., and Önder, H. (2022). *Determination of The Direct and Indirect Effects of Feed Characteristics on the Metabolizable Energy of Natural Pasture Hay Mera Samanı İçin Yem Özelliklerinin Metabolize Edilebilir Enerjisi Üzerine Path Analizi*. 37(June), 331–340.
- Tırnk, C. (2021). Analysis of Continuous Proportional Data: Case Study of Determination of Milk Protein. In Y. Keskin, İsmail; Mikail, Nazire; Altay (Ed.), *Different Statistical Applications in Agriculture* (1st ed., Issue January, pp. 211–229). Iksad Publications.
- Tırnk, C., Piwczynski, D., Kolenda, M., and Önder, H. (2023). Estimation of Body Weight Based on Biometric Measurements by Using Random Forest Regression, Support Vector Regression and CART Algorithms. *Animals*, 13(5), 798.
- Turhan, M. (2020). Mars Algoritması Uygulanarak Farklı Gruplardaki Ari Kolonilerinde Bulunan Varroa'nın Bulaşıklık Tespiti. In Ş. Çelik (Ed.), *Veri Madenciliği Yöntemleri: Tarım Alanında Uygulamaları* (1st Editio, pp. 1–23). Rating Academy Ar-Ge Yazılım Yayıncılık Eğitim Danışmanlık ve Organizasyon Ticaret Limited Şirketi,.
- Yaylak, E., and Kumlu, S. (2005). Siyah Alaca Sığırların 305 Günlük Süt Verimine Vücut Kondisyon Puanı ve Bazı Çevre Faktörlerinin Etkisi. *Ege Üniv. Ziraat Fak Derg.*, 42(3), 55–66.



## Eski Kaşar Peyniri Proses Hattında Mikrobiyal Pembe Renk Bozuklukları: Örnek Bir Çalışma

Dilvin İPEK<sup>1\*</sup>, Nükhet N. DEMİREL ZORBA<sup>2</sup>

### Öz

Bu çalışma ülkemiz için önemli bir değer olan eski kaşar peyniri üretim hattının mikrobiyal yükünün belirlenmesi, incelenen üretim hattında üretilen ürünlerde daha önce oluşan pembe renk gibi istenmeyen kalite kusurlarına neden olabilecek mikroorganizmaların tanımlanmasını ve bu mikroorganizmaların ürüne kontamine olduğu noktaları belirlemek amacıyla yapılmıştır. Çalışma sırasında üretim hattı boyunca farklı noktalardan örnekler alınmış, bu örneklerde toplam aerobik mezofilik bakteri sayımı (TAMB) genel mikrobiyal yükün tespiti amacıyla yapılırken, içlerinde pembe renk oluşumuna sebep olabilecek türleri barındıran küf/maya ve Enterobacteriaceae sayıları tespit edilmeye çalışılmıştır. Tespit edilen mikroorganizmalara fenotipik yöntemler kullanılarak tanımlanmış, pembe renk sorununa neden olan mikroorganizmanın ise *Debaryomyces* sp.'e ait olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre işletmedeki ana kontaminasyon kaynaklarının işletme suyu ve tahta olgunlaştırma rafları olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Eski Kaşar, Üretim Hattı, Pembe Renk Bozukluğu, Tahta Raf, Kalite.

## Microbial Pink Discoloration Defects in Old Kashar Cheese Process Line: A Case Study

### Abstract

In this study, it was aimed to determine the microbial load of Old Kashar Cheese's Process Lines, define the pink pigment formable microorganisms which was seen before as a quality defect on products from the examined process line and determine the contamination points. During the study, sampling was done from different part of process line points. Total aerobic mesophilic bacteria count (TAMB) were used for understanding the general microbial load of process line. However, mold/yeast and Enterobacteriaceae counts were performed for identifying to microbial pink discoloration defect. Isolated microorganisms were identified by phenotyping methods and microorganism which can cause microbial pink discoloration was defined as *Debaryomyces* sp. According to results of analyses, the main contamination points of the process line were examined as water and wooden maturation shelves.

**Keywords:** Old Kashar, Process Line, Pink Discoloration Defect, Wooden Shelf, Quality.

<sup>1</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Gıda İşleme Bölümü/Ezine Gıda İhtisas OSB Meslek Yüksekokulu, Çanakkale, Türkiye, [dilvinipek@comu.edu.tr](mailto:dilvinipek@comu.edu.tr)

<sup>2</sup>Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Gıda Mühendisliği Bölümü / Mühendislik Fakültesi, Çanakkale, Türkiye, [drukhet@comu.edu.tr](mailto:drukhet@comu.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 30.10.2023

Kabul/Accepted: 18.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Gıda endüstrisi içerisinde üretimin en yoğun olduğu alan süt ve süt ürünleridir. Süt ürünleri arasında en fazla üretimi yapılan ve en fazla çeşide sahip ürün ise peynirdir. Dünya üzerinde bilinen 1000'den fazla peynir çeşidi bulunmaktadır (Fox ve ark., 2000). Türkiye'de ise durum dünya ile benzerlik göstermektedir. Türkiye'de yaklaşık 150 çeşit peynirin üretildiği bilinmektedir. Bununla birlikte özellikle beyaz peynir, kaşar peynir ve tulum peynirinin yoğun bir şekilde üretildiği görülmektedir (Temelli ve ark., 2006).

Kaşar peynirinin Türkiye'de yıllık üretim miktarı 41 000 ton civarındadır. Bu üretimin büyük bir kısmını küçük kapasiteli üretim yapan mandıra işletmeleri oluşturmaktadır. Ülkemizde temel olarak taze kaşar peynir ve eski kaşar peynir olmak üzere iki çeşit kaşar peynirin üretimi gerçekleştirilmektedir. Taze kaşar peynir genel olarak inek sütünden standardizasyon ve pastörizasyon işlemleri sonrası starter kültür kullanılarak üretilmekte, kısa sürede piyasaya sürülebilmektedir. Eski kaşar peynir ise inek, koyun ve keçi sütlerinin karışımından üretilmekte olup termizasyon işlemi sonrası sadece rennet enzimi ile üretilmekte, 120 gün olgunlaşma süreci sonucunda piyasaya arz edilmektedir. Malkara ticaret odası tarafından 2017 yılında alınan "Malkara Eski Kaşar Peyniri" isimli menşei tescilinde ise 90 gün olgunlaştırma gerektiği belirtilmiştir (Üçüncü, 2005; Sert ve ark., 2007; İpek ve Zorba, 2018).

Süt ve ürünleri içerdikleri besin değerleri nedeniyle mikroorganizmalar için iyi birer besi ortamı sağlamaktadır. Bu nedenle, bu ürünlerin üretimi sırasında hijyen ve sanitasyon kurallarına uymak büyük önem arz etmektedir. Küçük kapasiteli işletmelerde yeterli sanitasyon işlemi uygulanmadığında ürünlerde mikroorganizmalara bağlı bozulmalar meydana gelebilmektedir. Eski kaşar peyniri üretiminde sadece termizasyon işlemi uygulanması nedeniyle pasta filata yapısının oluşması için kullanılan 72°C'de haşlama işlemi üründeki mikrobiyal yükü azaltan ek bir aşama olarak görülebilmektedir. Kaşar peynirinde bozulmaya neden olabilecek kontaminasyonların haşlama işleminden sonra gerçekleştiği düşünülmektedir. Haşlama işlemi sonrası uygulanan suyla yıkama, yoğurma, kalıplarda şekil verme ve olgunlaştırma işlemlerinde olabilecek kontaminasyonların üründe bozulmaya neden olabileceği düşünülmektedir (Evrensel ve ark., 2003). Peynirlerde bozulmaya neden olabilen mikroorganizma grupları arasında laktik asit bakterileri, koliform bakteriler, spor oluşturan bakteriler, küf ve mayalar yer almaktadır. Eski kaşar peyniri ile benzerlikleri bulunan Cheddar peynirinin mikroflorasının doğal bir parçası olan heterofermantatif laktobasiller olgunlaşma sırasında gaz üreterek peynirlerde çatlaklar ve kötü koku oluşumuna neden olmaktadır. Örneğin *Lactobacillus casei* spp. *olactosus* ve *L.casei* spp. *rhamnosus*'un Cheddar peynirlerinin depolanması sırasında 2 ile 6. ayın sonunda fenolik tat oluşumuna neden olduğu bilinmektedir. Koliform grubu bakterilerin peynirde erken şişme etmeni olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmalarda kaşar

peynirinde *Esherichia coli* gibi koliform grubu bakteriler yanı sıra *Leuconostoc* sp gibi diğer Enterobacteriaceae türü bakteriler kaşar peynirinden izole edilmiştir (Öksüztepe ve ark., 2009; Koçak Kızanlık ve Göksoy, 2018). Süt ürünlerinde *Kluyveromyces marxionus* ve *Debaromyces hansenii*, *Candida farata*, *Candida kefyri*, *Rhadotorula mucilaginoso*, *Yarrowia lipolytic* ve *Torulopora* ve *Pichia* spp. gibi maya türleri izole edilmiştir. Bu mayalar lipolitik aktiviteleri ile ransit tat oluşumuna sebep olabilmektedir. Ayrıca mayalar tarafından üretilen alkollerle ile serbest yağ asitlerinin kombinasyonu ile meyvensi tat oluşumuna da sebep olabilmektedir. Vakum paketlenmiş eski kaşar peynirlerinde ve çok benzer bir ürün olan Cheddar peynirinde *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Mucor*, *Scopuloriopsis* ve *Verticillum* spp. gibi küflerinin izole edildiği bildirilmiştir (Doyle ve ark., 2001; Pekel ve Korukluoğlu, 2009; Banjara ve ark., 2015; Uzundağ ve ark., 2020).

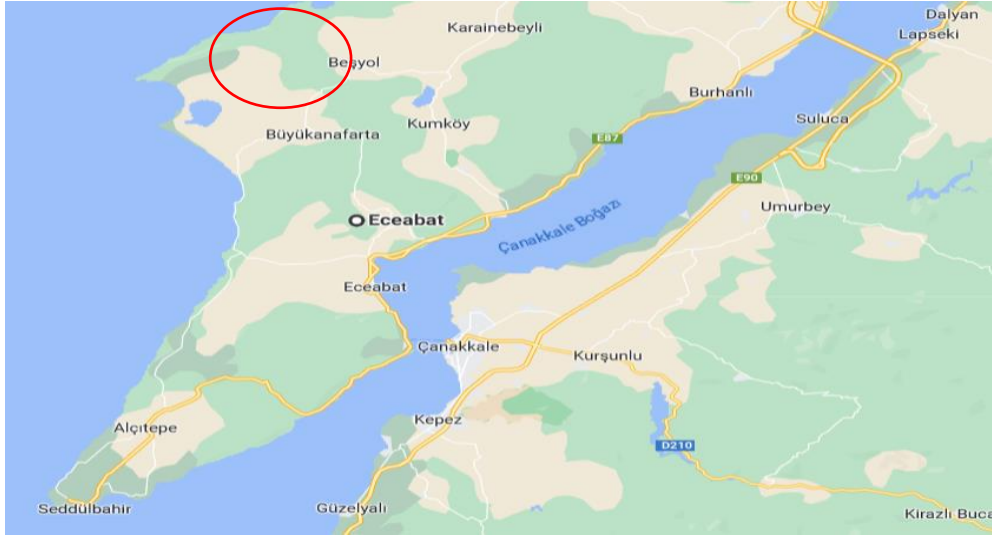
Yapılan çalışmanın amacı, eski kaşar peyniri gibi özel tahta raflarda olgunlaştırılan ürünü üreten bir firmada meydana gelen ve üretimin durdurulmasına neden olan pembe renk pigmentasyonun nedenlerini ortaya koymaktır. Bu amaçla; üretim hattının genel mikrobiyal yükü tespit edilirken üretim hattında pembe renk pigmentasyonuna sebep olabilecek mikroorganizmaların tespiti ve bu mikroorganizmaların ürüne kontamine olabileceği olası noktaları belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Araştırmamız Çanakkale ili Eceabat ilçesi, Beşyol köyünde (Şekil 1) eski kaşar peyniri üreten ve peynirlerinde pembe pigmentasyon gelişimi nedeniyle üretimini durduran bir firmanın üretim hattından çeşitli noktalardan örnekleme gerçekleştirilmiştir. Firma yoğunlukla Nisan-Temmuz arası üretim yapmaktadır. Firma üretim alanı içerisinde sabit bir sıcaklık, pozitif basınç ve havalandırma gibi teknikler uygulanmadığından üretim hattındaki mevsimsel farklılıkları da gözlemlemek için 2022 yılı son bahar ve ilkbahar aylarında iki farklı zamanda iki paralel ve üç tekerrür olacak şekilde örnekleme yapılmıştır.

Yapılan ön incelemeler ve teknik personel ile yapılan yüz yüze görüşmeler sonucunda örnek alınacak noktalar haşlama kazanı, teknelerin taban ve yan yüzeyleri, üretimde kullanılan tuz, üretimde kullanılan su, üretim ve olgunlaştırma hattı havası, tahta olgunlaştırma rafları yüzeyleri olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Çanakkale ili, Eceabat ilçesi, Beşyol köyü haritası (URL-1).

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1. Örneklerin alınması

Çalışma sırasında belirlenen yüzeylerden örnekler, 10 mL %0,1'lik peptonlu su (Merck 107228, Almanya) ile ıslatılan steril swap çubuklarıyla sürüntü şeklinde 100 cm<sup>2</sup>'lik alandan alınmıştır. Tahta olgunlaştırma raflarından örnekler ayrıca steril paslanmaz çelik spatula ile kazımak suretiyle 100 cm<sup>2</sup>'lik alandan alınmıştır. Su örnekleri, işletme içinde kullanılan sudan alınan örnekler, klorlama ihtimaline karşı içine %0,1'lik sodyum tiyosülfat (PubChem CID: 24477) içeren 200 mL'lik şişelere alınmıştır. Hava örnekleri, içinde Plate Count Agar (PCA, Merck 105463, Almanya) bulunan petri kaplarının 15 dk açık tutulması ile alınmıştır. Tuz örnekleri ise steril kaplar ile alınmıştır. Örnekler +4°C de en kısa sürede laboratuvara getirilerek analize alınmıştır (Karapınar, 1994; Horwitz, 2000).

### 2.2.2. Mikrobiyal Yükün Tespiti ve İzolasyon

Alınan yüzey örnekleri toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı (TAMB), küf/maya, Enterobacteriaceae, koliform bakteri, fekal koliform ve *Esherichia coli* sayıları belirlenmek üzere analize alınmıştır. Toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı (TAMB) Plate Count Agar (PCA, Merck 105463, Almanya) ile 35-37°C'de 24-48 saat inkübasyon sonucunda tespit edilirken; Enterobacteriaceae sayısı Violet Red Bile Glucose Agar (VRBGA, Merck 110275) besiyeri ile 35-37°C'de 24-48 saat inkübasyon sonucunda belirlenmiştir.

Su örnekleri için kullanılan ve en Muhtemel Sayı yönteminin kullanıldığı koliform bakteri analizlerinde, koliform bakteri sayısı Lauryl Suphate Tryptose broth (LST, Merck 1.10266) ve Brilliant-green bile Lactose broth (BRILA, Merck 105454) besiyerleri ile 35-37°C'de 24 saat inkübasyon sonucu belirlenmeye çalışılırken; fekal koliform ve *E.coli* bakteri sayısı ise *Escherichia coli* broth (EC Broth, Merck 10765), Eosin Methylene Blue Agar (EMB, Merck 1.01342) and Tryptone Water (Merck 1.10859) besiyerleri kullanılmıştır. Kullanılan inkübasyon şartları EC broth için 44±2°C'de 24 saat, diğerleri için ise 35±2°C'da 24saat olarak uygulanmıştır. Örneklerin küfmaya sayıları Yeast extract glucose chloramphenicol agar (YGC, Merck 16000) besiyeri ile 20-25°C'de 3-5 gün inkübasyon sonucu tespit edilmiştir.

Analizler sonucu elde edilen koloniler arasından birinden farklı koloni görünümüne sahip olanlar seçilmiştir. Elde edilen izolatlar, Nutrient Agar (Merck 1.05450, Almanya) besiyerine çizilerek tek koloni elde edildikten sonra, +4 °C'de saklanmıştır. Tek düşürüldükten sonra bakteriler için gram reaksiyonları mikroskop altında inceleyerek %20 gliserol içeren Tyriptione Soy Agar (TSA, Merck 105458) -18°C'de saklanmıştır. Küf ve mayalar ise Potato Dextrose Agar (PDA, Merck 110130)'da tek düşürüldükten sonra aynı besiyer kullanılarak stoklanmıştır (Horwitz, 2000; Harrigan, 1998; FDA, 2006; Ünlütürk ve Turantaş, 2002).

### 2.2.3. İzolatların Tanımlanması

Elde edilen Enterobacteriaceae şüpheli izolatların türlerinin belirlenmesi amacıyla 24 saatlik kültürleri hazırlanarak Methyl Red-Voges Proskauer Testi (MR-VP), Sitrat Testi ve Motility Testi yapılmıştır (Ünlütürk ve Turantaş, 2002).

Elde edilen maya izolatlarının tanımlarının yapılabilmesi amacıyla 24 saatlik maya kültürleri hazırlanarak malaşit yeşili ile spor boyama yapılmış, mikroskop altında inceleme yapılmıştır. Daha sonra mayaların karbonhidrat fermantasyon testi, karbon ve azot asimülasyon testi analizleri yapılarak tanımlama gerçekleştirilmiştir (Ünlütürk ve Turantaş, 2002).

Küflerin tanımlanması sırasında ise taze kültürlerin laktofenol mavisi kullanılarak yaş preparatları hazırlanmıştır. Hazırlanan yaş preparatlar mikroskop altında incelenerek morfolojik yapılarına göre tanımlamaları yapılmıştır (Ünlütürk ve Turantaş, 2002; Pekel ve Korukluoğlu, 2009).

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmamız sırasında iki farklı mevsimde örnekleme yapılmıştır (Tablo 1). Çanakkale'nin Eceabat yöresinde, üretimin yoğun olduğu sezon Nisan ile Temmuz ayları arasındadır. Yoğun bir üretim sezonu sonrası Eylül ayında alınan örnekler, Mayıs ayında alınan örneklere oranla daha

yüksektir. Yapılan her iki örnekleme döneminde de incelenen yüzeyler arasında mikrobiyal yükü en fazla olan yüzeyin tahta olgunlaştırma rafları olduğu belirlenmiştir. Olgunlaştırma raflarından swapla alınan örneklerin TAMB yükleri Mayıs ayından Eylül ayına sırası ile  $2.80 \times 10^3$  kob  $\text{cm}^{-2}$  ve  $1.10 \times 10^4$  kob  $\text{cm}^{-2}$  olarak tespit edilmiştir. Olgunlaştırma raflarından kazıma ile alınan örneklerde TAMB yükleri yine Mayıs ayından Eylül ayına sırası ile  $3.70 \times 10^6$  kob  $\text{cm}^{-2}$  ve  $7.50 \times 10^6$  kob  $\text{cm}^{-2}$  olarak bulunmuştur. Yine olgunlaştırma raflarından swap ile alınan örneklerde yapılan küf/maya sayısı sırası ile  $1.40 \times 10^3$  kob  $\text{cm}^{-2}$  ve  $1.30 \times 10^4$  kob  $\text{cm}^{-2}$  olarak belirlenmiştir. Olgunlaştırma raflarından kazıma yöntemiyle alınan örneklerde küf/maya sayısı ise sırası ile  $5.34 \times 10^6$  kob  $\text{cm}^{-2}$  ve  $8.0 \times 10^6$  kob  $\text{cm}^{-2}$  olarak bulunmuştur. Tahta olgunlaştırma raflarından swap ve kazıma yöntemleriyle alınan örneklerin mikrobiyal yükleri arasında fark olmasının nedenin olgunlaştırma raflarının yüzeylerinin paslanmaz çelik yüzeylere oranla pürüzlü oluşu ve mikroorganizmaların yerleşerek raf yüzeylerinde biyofilm oluşumunun gerçekleştiği düşünülmektedir (Nakanishi ve ark., 2021; Sarquis ve ark., 2023).

İşletmede kullanılan suyun mikrobiyolojik analizi sonucu alınan her iki örnekleme döneminde de toplam koliform  $4.5 \times 10^2$  EMS  $100 \text{ ml}^{-1}$ , fekal koliform  $4.5 \times 10^2$  EMS  $100 \text{ ml}^{-1}$  ve *E.coli* sayısı da 3'ten küçük olarak belirlenmiştir. Su örneklerindeki toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı sırasıyla (Mayıs, Eylül)  $1.6 \times 10^2$  kob  $\text{ml}^{-1}$  ve  $2.6 \times 10^2$  kob  $\text{ml}^{-1}$  olarak tespit edilmiştir. İşletmelerde kullanılan su direk son ürünün kalitesini etkilediğinden kullanılan suyun içme suyu kalitesinde olması gerekmektedir. İpek ve Zorba (2018) tarafından yapılan çalışmada peynir işletmelerinden alınan su örneklerinin toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı  $6.3 \times 10^2$  kob  $\text{ml}^{-1}$  ile  $1.15 \times 10^2$  kob  $\text{ml}^{-1}$  arasında olduğu tespit edilmiştir. Araştırmacıların belirttiği üzere bu değerler içme ve kullanım suları için gerekli mikrobiyal yük değerinden yüksektir. Bu durum işletmeler için önemli bir soruna işaret etmektedir. İçme suyu kriterine göre sularda koliform bakteri sayısı 1'den küçük, fekal koliform ve *E.coli* bulunmaması, toplam aerobik mezofilik bakteri sayısı  $3 \times 10^1$  kob  $\text{ml}^{-1}$ 'den küçük olması gerekmektedir (Ünlütürk ve Turantaş, 2002). İpek ve Zorba (2018) tarafından da belirtildiği üzere birçok firmanın yeraltı suyu kullanması nedeniyle suyun mikrobiyal yükü mevsimlere göre değişmekte, ayrıca yeterli derece de temiz olamadığı görülmektedir. İşletmelerde bu kalitede suyun kullanılması ürünün sürekli kontamine olmasına neden olmaktadır. Wagner ve ark. (2020) tarafından yapılan çalışmada, farklı bir gıda ürünü olan et üretim hatlarında biyofilm oluşumu incelenmiştir. İncelenen yüzeylerde en fazla yüzey yükü ortalama  $10^7$  kob  $\text{cm}^{-2}$  ile su hortumlarında tespit edilmiştir. Araştırmacılar, bu durumu işletme suyunun içilebilir nitelikten uzaklaştırabilecek ciddi bir kontaminasyon kaynağı olarak tanımlamıştır.

Tahta olgunlaşma raflarından kazınarak alınan örneklerden izole edilen E-1, E-2 ve E-3 kodlu izolatların, Enterobacteriaceae türlerinin tanımlanması için yapılan biyokimyasal tanımlama testleri sonucunda sırasıyla *Klebsiella* sp., *Escherichia* ve *Edwardsiella* sp. olabileceği belirlenmiştir. Yine tahta olgunlaşma raflarından kazınarak ve yüzeyden sürüntü olarak alınan sırasıyla M-1 ve M-2 alınan

örneklerden izole edilen elde edilen maya izolatlarının ise yapılan tanımlama testleri sonucunda *Debaryomyces* sp'ye ait olabileceği belirlenmiştir. Tahta olgunlaşma raflarından kazınarak ve yüzeyden sürüntü olarak alınarak izole edilen K-1, K-2, K-3 ve K-4 izolatları ise *Penicillium* spp., *Aspergillus* spp., *Trichoderma* spp. ve *Cladosporium* spp. olarak tanımlanmıştır (Tablo 2). Guzzon ve ark. (2016) ve Yeluri Jonnala ve ark. (2018) tarafından yapılan çalışmalarda eski kaşar peynir üretiminde de kullanılan tahta raflarda olgunlaştırma işleminde yararlanılan tahta yüzeylerin başta *Debaryomyces* sp. olmaz olmak üzere pembe pigmentasyon hatasına sebep olan mikroorganizmalar için kontaminasyon kaynağı olduğunu belirtmişlerdir. *Debaryomyces* sp. ekstremofilik bir maya türü olarak eski kaşar benzeri peynirlerin yüzlerinde yoğun olarak tespit edilmiştir. Özellikle ekstremofilik olan *Debaryomyces* sp.'in peynir yüzeyinde kahverengimsi-kırmızı lekeler oluşturduğunu belirten çalışmalar bulunmaktadır (Breuer ve Harms, 2006; Ozturkoglu Budak ve ark., 2015). Benzer olarak tahta olgunlaştırma yüzeylerinden alınan örneklerde *Debaryomyces* sp. varlığı belirlenmiştir. Enterobacteriaceae türlerin süt ve ürünleri üretim hatlarında sıklıkla görüldüğü bilinmektedir (İpek ve Zorba, 2018); fakat tahta olgunlaştırma raflarında olgunlaştırılan peynirlerde ana mikrobiyotanın ve bozulma etmeni mikroorganizmaların mayalar olduğu bildirilmektedir (Daly ve ark., 2012; Guzzon ve ark., 2016; Sutthiwong ve ark., 2018).

**Tablo 1.** Mikrobiyolojik Analiz Sonuçları (Mayıs ve Eylül Ayı Ortalamaları)

Örnekler (Mayıs)	T.A.M.B.	Küf&Maya	Enterobacteriaceae
Haşlama Kazanı (Swap)	$5.90 \times 10^1 \text{ kobcm}^{-2}$	-	-
Tekne Yanyüzey (Swap)	$3.60 \times 10^1 \text{ kobcm}^{-2}$	-	-
Tekne Dip (Swap)	$3.70 \times 10^1 \text{ kobcm}^{-2}$	-	-
Olgunlaştırma Rafı (Swap)	$2.80 \times 10^3 \text{ kobcm}^{-2}$	$1.40 \times 10^3 \text{ kobcm}^{-2}$	-
Olgunlaştırma Rafı (Kazıma)	$3.70 \times 10^6 \text{ kobcm}^{-2}$	$5.34 \times 10^6 \text{ kobcm}^{-2}$	$4.60 \times 10^1 \text{ kobcm}^{-2}$
Tuz	$1.20 \times 10^1 \text{ kob g}^{-1}$	-	-
Üretim Hattı Ortam Havası	$8.00 \times 10^1 \text{ kob}$	-	-
Olgunlaştırma Odası Ortam Havası	$1.10 \times 10^2 \text{ kob}$	-	-
Su	$1.60 \times 10^2 \text{ kobml}^{-1}$	-	-
Su	<i>Toplam Koliform</i> MPN 100ml <sup>-1</sup> $4.50 \times 10^2$	<i>Fekal Koliform</i> MPN 100ml <sup>-1</sup> $4.50 \times 10^2$	<i>E.coli</i> MPN 100ml <sup>-1</sup> <3
Örnekler (Eylül)	T.A.M.B.	Küf&Maya	Enterobacteriaceae
Haşlama Kazanı (Swap)	$8.0 \times 10^1 \text{ kobcm}^{-2}$	-	-
Tekne Yan yüzey (Swap)	$3.60 \times 10^1 \text{ kobcm}^{-2}$	-	-
Tekne Dip (Swap)	$3.10 \times 10^1 \text{ kobcm}^{-2}$	-	-
Olgunlaştırma Rafı (swap)	$1.10 \times 10^4 \text{ kobcm}^{-2}$	$1.30 \times 10^4 \text{ kobcm}^{-2}$	-
Olgunlaştırma Rafı (Kazıma)	$7.50 \times 10^6$	$8.00 \times 10^6 \text{ kobcm}^{-2}$	$9.80 \times 10^1 \text{ kobcm}^{-2}$
Tuz	$3.50 \times 10^1 \text{ kob g}^{-1}$	-	-
Üretim Hattı Ortam Havası	$2.00 \times 10^1 \text{ kob}$	-	-
Olgunlaştırma Odası Ortam Havası	$1.90 \times 10^2 \text{ kob}$	-	-
Su	$2.60 \times 10^2 \text{ kobml}^{-1}$	-	-
Su	<i>Toplam Koliform</i> MPN 100ml <sup>-1</sup> $4.50 \times 10^2$	<i>Fekal Koliform</i> MPN 100ml <sup>-1</sup> $4.50 \times 10^2$	<i>E.coli</i> MPN 100ml <sup>-1</sup> <3

**Tablo 2.** Elde Edilen İzolatlar ve Tanımları

İzolatin Kodu	İzole Edildiği Nokta	İzolatin Tanımları
E-1	Tahta olgunlaşma raflarından kazınarak alınan örnek	<i>Klebsiella</i> sp.
E-2	Tahta olgunlaşma raflarından kazınarak alınan örnek	<i>Escherichia</i> sp.
E-3	Tahta olgunlaşma raflarından kazınarak alınan örnek	<i>Edwardsiella</i> sp.
M-1	Tahta olgunlaşma raflarından kazınarak alınan örnek	<i>Debaryomyces</i> sp.
M-2	Tahta olgunlaşma raflarından sürüntü (swap) örneği	<i>Debaryomyces</i> sp.
K-1	Tahta olgunlaşma raflarından kazınarak alınan örnek	<i>Penicillium</i> sp.
K-2	Tahta olgunlaşma raflarından sürüntü (swap) örneği	<i>Aspergillus</i> sp.
K-3	Tahta olgunlaşma raflarından kazınarak alınan örnek	<i>Trichoderma</i> sp.
K-4	Tahta olgunlaşma raflarından sürüntü (swap) örneği	<i>Cladosporium</i> sp.



#### 4. Sonuçlar ve öneriler

Çalışma kapsamında iki farklı mevsimde yapılan örnekler sırasında yüzey rneklerinin TAMB sayımının oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Oldukça küçük olan işletmenin hijyen ve sanitasyon prosedürlerini yeterli derecede uygulamadığı düşünülmektedir. Ayrıca işletme içinde kullanılan suyun mikrobiyal kalitesinin de bir gıda işletmesi için gerekli düzeyde olmadığı tespit edilmiştir. İşletme içinde mikrobiyal yükün en fazla olduğu yüzeyin tahta olgunlaştırma raflarına ait olduğu belirlenmiştir. İşletmede ana kontaminasyon noktalarından birinin işletme suyu ile birlikte olgunlaştırma rafları olduğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen izolatlar incelendiğinde pembe pigment oluşumunun bir maya türü olan, eski kaşar benzeri peynirlerin yüzeylerinden ve üretiminin gerçekleştirildiği yüzeylerden sıklıkla izole edilen *Debaryomyces* sp'ye ait olabileceği belirlenmiştir.

#### Teşekkür

Bu alışma kapsamında kullanılan verilerin toplanmasında ve analizlerinde çalışan Çanakkale Onsekiz Mart ni. Gıda mühendisliği lisans ğrencisi Aydın BAYRAM'a teşekkürlerimizi bir borç biliriz.

#### Yazarların Katkısı

Nükhet N. DEMİREL ZORBA çalışmanın danışmanlığını, makale metninin gözden geçirilmesi konusunda çalışırken; Dilvin İPEK ise analizlerin yapılması, metin yazımı kısmında çalışmıştır.

#### ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Banjara, N., Suhr, M. J. ve Hallen-Adams, H. E. (2015). Diversity of yeast and mold species from a variety of cheese types. *Current microbiology*, 70(6), 792-800.
- Breuer, U., ve Harms, H. (2006). *Debaryomyces hansenii*—an extremophilic yeast with biotechnological potential. *Yeast*, 23(6), 415-437. <https://doi.org/10.1002/yea.1374>
- Budak, S. O., Figge, M. J., Houbraken, J., ve de Vries, R. P. (2016). The diversity and evolution of microbiota in traditional Turkish Divle Cave cheese during ripening. *International Dairy Journal*, 58, 50-53. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2015.09.011>
- Daly, D. F. M., McSweeney, P. L. H., ve Sheehan, J. J. (2012). Pink discolouration defect in commercial cheese: a review. *Dairy science & technology*, 92(5), 439-453.
- Doyle, M.P., Beuchat, L.R., ve Montville, T.J. (2001). *Food microbiology: Fundamental and frontiers* (2.Baskı). Washington, ABD: ASM Press.
- Evrensel, S.S., Temelli, S., ve Anar, Ş. (2003). Mandıra düzeyindeki işletmelerde beyaz peynir üretiminde kritik kontrol noktalarının belirlenmesi. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Science*, 27:29-35
- FDA, (2006). Bacteriological Analytical Manual. Retrieved from: <http://www.cfsan.fda.gov/>
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., ve McSweeney, P. L. (2017). *Fundamentals of cheese science*. New York: Springer US. ISBN-0-8342-1260-9.
- Guzzon, R., Carafa, I., Tuohy, K., Cervantes, G., Vernetti, L., Barmaz, A., ve Franciosi, E. (2017). Exploring the microbiota of the red-brown defect in smear-ripened cheese by 454-pyrosequencing and its prevention using different cleaning systems. *Food microbiology*, 62, 160-168.
- Harrigan, W.F., (1998). *Laboratory Methods in Food Microbiology* (3.Baskı). London, UK: Academic Press. ISBN 0-12-326043-3.
- Horwitz, W. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International* (17. Baskı). Gaithersburg (Maryland), ABD: AOAC.
- İpek, D. ve Zorba, N. N. D., (2018). Microbial load of white cheese process lines after CIP and COP: A case study in Turkey. *LWT*, 90, 505-512.
- Karapınar, M., (1990). *Gıdaların Mikrobiyolojik Kalite Kontrolü* (N:6). Bornova, İzmir: E.Ü. Ege Meslek Yüksekokulu Yayınları.
- Koçak Kızanlık, P., ve Göksoy, E. Ö. (2018). Microbiological Quality Evaluation of Various Types of Cheese. *Journal of Faculty of Veterinary Medicine*, 15(2).
- Nakanishi, E.Y., Palacios, J.H., Godbout, S., and Fournel, S. (2021). Interaction between Biofilm Formation, Surface Material and Cleanability Considering Different Materials Used in Pig Facilities—An Overview. *Sustainability*, 13(11), 5836. <https://doi.org/10.3390/su13115836>
- Öksüztepe, G., Patır, B., Dikici, A., ve İlhak, O. İ. (2009). Elazığ’da tüketime sunulan vakum paketli taze kaşar peynirlerinin mikrobiyolojik ve kimyasal kalitesi. *Fırat Üniversitesi Sağlık Bilimleri Veteriner Dergisi*, 23(2), 89-94.
- Pekel, M., ve Korukluoğlu, M. (2009). Sivas Yöresinde Üretilen Küp Peynirinin Mikrobiyolojik, Kimyasal Kalitesi ve Küf Florasının Belirlenmesi. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*, 24(1), 1-7.
- Sarquis, A., Bajrami, D., Mizaikoff, B., Ladero, V., Alvarez, M.A., ve Fernandez, M. (2023). Characterization of the Biofilms Formed by Histamine-Producing *Lentilactobacillus parabuchneri* Strains in the Dairy Environment. *Foods*, 12(7):1503. <https://doi.org/10.3390/foods12071503>
- Sert, D., Ayar, A., ve Akın, N. (2007). The effect of starter culture on chemical composition, microbiological and sensory characteristics of Turkish Kaşar Cheese during ripening. *Internet Journal of Food Safety*, 9, 7-13.
- Sutthiwong, N., Fouillaud, M., ve Dufossé, L. (2018). The influence of pH, NaCl, and the deacidifying yeasts *Debaryomyces hansenii* and *Kluyveromyces marxianus* on the production of pigments by the cheese-ripening bacteria *Arthrobacter arilaitensis*. *Foods*, 7(11), 190.
- Temelli, S., Anar, Ş., Sen, C., ve Akyuva, P. (2006). Determination of microbiological contamination sources during Turkish white cheese production. *Food Control*, 17(11), 856-861.
- URL-1. Çanakkale ili, Ecebat ilçesi, Beşyol köyü haritası. <https://www.google.com.tr/maps/dir/Eceabat,+%C3%87anakkale/40.377406,26.1177153/@40.2200411,26.1263665,10.67z/data=!4m8!4m7!1m5!1m1!1s0x14b1a8aa0686a7e7:0xc7f0ef9ae02c3da!2m2!1d26.3485586!2d40.2276602!1m0?hl=tr&entry=ttu>. (Erişim Tarihi: 29/10/2023).

- Uzundağ, D., Arslan, S., Yüksekdağ, Z., Beyatlı, Y. ve Sakallı, A. (2020). Beyaz Peynirden İzole Edilen *Cryptococcus humicola* Suşlarının Starter Aktivitelerinin Araştırılması. *Gıda*, 45(5), 872-880. [https://doi: 10.15237/gida.GD20076](https://doi.org/10.15237/gida.GD20076).
- Üçüncü, M. (2005). *Süt ve Mamülleri Teknolojisi*. Bornova, İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.
- Ünlütürk, A., ve Turantaş, F. (2002). *Gıdaların Mikrobiyolojik Analizi*. Bornova, İzmir: Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri.
- Wagner, E. M., Pracser, N., Thalguter, S., Fischel, K., Rammer, N., Pospíšilová, L., ve Rychli, K. (2020). Identification of biofilm hotspots in a meat processing environment: Detection of spoilage bacteria in multi-species biofilms. *International Journal of Food Microbiology*, 328, 108668.
- Yeluri Jonnala, B., McSweeney, P. L., Sheehan, J. J., ve Cotter, P. D. (2018). Sequencing of the cheese microbiome and its relevance to industry. *Frontiers in microbiology*, 9, 1020.

## Deprem Yalıtımlı Tank Tasarımında Yönetmeliklerin Doğrusal Olmayan Analiz Prensiplerinin İrdelenmesi

Samet KILIÇ<sup>1\*</sup> 

### Öz

Endüstriyel tanklarda, depremlerde hasarları engellemek için, günümüzde sismik yalıtım kullanılmaktadır. Sismik yalıtım, zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler gerektirir. Yalıtımlı tanklar için doğrusal olmayan analiz prensipleri Eurocode8, ASCE7-16 ve diğer kodlarda detaylı olarak verilmiştir ve binalara benzer yapılar için tanımlanan kurallar tanklar için önerilmiştir. Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği'nde, yalıtımlı tankların tasarımında Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne yönlendirme yapılmaktadır. Yaygın tank tasarım kodlarına Eurocode8 Part4, API 650 ve New Zeland Yönetmeliği örneklerdir. Bu yönetmeliklerde sismik yalıtım esaslarından bahsedilmiş fakat tüm tasarım prensipleri tanımlanmamış, ilgili ülkelerin deprem yönetmeliklerine atıfta bulunulmuştur. Tank ve deprem yönetmelikleri kıyaslandığında, doğrusal olmayan analiz prensiplerinin sismik yalıtımlı tanklar için uyumsuzluğu görülmüştür. Bu çalışmada, mevcut yönetmeliklerin sismik yalıtım prensipleri incelenmiştir. Bir adet atmosferik basınçlı, 10m yüksekliğinde, içerisinde su bulunduran çelik tank boyutlandırılıp, uygun yalıtım sistemi tasarımı yapılmış ve doğrusal olmayan analizler için ANSYS kullanılarak, deprem yalıtım sistemleri değerlendirilmiştir. Taban kesme kuvvetleri, yalıtım birimi çekme kuvvetleri, hidrodinamik tank duvarı gerilmeleri ve çalkalanma dalgası yüksekliği sonuçları deprem ölçekleme metotları kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Bunlar sonucunda, deprem ölçekleme yöntemlerinin elde edilen sonuçları değiştirdiği, yalıtım biriminin çekme ve basınç kuvveti kapasitelerinde yer değiştirmiş izdüşüm alanının belirleyici olduğu, yalıtım sisteminin tanklarda darbesel mod üzerinde etkili olduğu, devinimsel modda olmadığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Tank sismik tasarımı, Taban yalıtımı, Deprem kaydı ölçekleme, Yapı sıvı etkileşimi, Çelik tanklar, Silindirik kabuklar.

## The Investigations of Nonlinear Analysis Principles of Codes in Base-Isolated Tank Design

### Abstract

Seismic isolation is used today to prevent damage to industrial tanks during earthquakes. Seismic isolation requires nonlinear time-history analysis. Nonlinear analysis principles for seismically isolated tanks are detailed in Eurocode8, ASCE7-16 and other codes and the rules defined for structures similar to buildings are also recommended for tanks. In the Turkish Pipeline Systems and Liquid Storage Tanks Earthquake Regulation, the design of seismically isolated tanks is directed to the Türkiye Building Seismic Code-2018. Examples of common tank design codes are Eurocode8 Part4, API 650 and the New Zealand Regulation. In these regulations, seismic isolation principles are mentioned, but not all design principles are defined, and references are made to the earthquake regulations of the relevant countries. When tank and earthquake regulations are compared, it is seen that nonlinear analysis principles are incompatible for seismically isolated tanks. In this study, seismic isolation principles of current regulations are examined. An atmospheric pressure, 10m high, steel tank containing water is dimensioned, an appropriate isolation system was designed, and isolation systems are evaluated using ANSYS for non-linear analysis. Base shear forces, isolation unit tensile forces, hydrodynamic tank wall stresses and sloshing wave height results are evaluated by comparing earthquake scaling methods. Consequently, it is concluded that earthquake scaling methods change the results obtained, that the displaced projection area is decisive in the tensile and compression force capacities of the isolation unit, and that the isolation system is effective on the impulsive mode in tanks and not on the convective mode.

**Keywords:** Tank seismic design, Base isolation, Ground motion scaling, Fluid structure interaction, Steel tanks, Cylindrical shells.

<sup>1</sup>Star Yazılım Mühendislik ve Danışmanlık, İstanbul, Türkiye, [kilicsamet123@gmail.com](mailto:kilicsamet123@gmail.com)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 03.11.2023

Kabul/Accepted: 09.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Günümüzde sismik yalıtım, paslanmaz çelik ve çelik lifli beton gibi katkı malzemeler (Öztürk ve ark., 2021) ve katodik koruma gibi yöntemler kullanılarak, depremlerde tank hasarlarını önlemek hedeflenmektedir. Mevcut olan tank, silo gibi hazneli yapılarda içerisinde bulunan malzeme seviyesini azaltma da bir iyileştirme metodu olarak olabilmektedir (Kılıç, 2023). Ayrıca tanklarda karbon lifli polimerle burkulma kapasitesinin artırılması yönelik deneysel çalışmalar mevcuttur (Aydın ve ark., 2022; Kılıç, 2021; Maali ve ark., 2019). Sismik yalıtım ise, bina tipi yapılarda (Sagiroglu ve ark., 2018; Güler ve Alhan, 2019) kullanıldığı gibi endüstriyel yapılarda da değerlendirilmektedir (Gökçe ve ark., 2021; Güler ve Alhan, 2021; Güler ve Alhan, 2024). Tanklarda sismik yalıtım, gelişmiş sonlu elemanlarla modellemeler, sıvı-yapı etkileşimli çözümler ve zaman tanım alanında analizler gerektirir ve bu analizler, yaygın olarak kullanılmaktadır (Çelebi ve ark., 2023; Maali ve ark., 2018). Uluslararası kodlarda, tanklar için binalarda kullanılan sismik yalıtım prosedürünün izlenmesi önerilmektedir (ASCE7, 2016; Eurocode8, 2003; NZSEE, 2009). Ayrıca, Türkiye'de yakın zamanda geliştirilen Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği'nde (TBHSSDDTY, 2021) yalıtımsız tanklar için tüm analiz yöntemleri açıklanmakta ve sismik yalıtım tasarım esasları için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY, 2018) atıfta bulunmaktadır. Tanımlanan analiz prosedürleriyle (deprem kaydı seçimi, ölçeklenmesi, sönümü, yalıtım sistemi hedef deplasman, rijitlik seçimi vb.) ilgili binalar için birçok bilimsel çalışma olmasına rağmen tanklar için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır.

Avrupa normları (Eurocode8, 2003) 10.2.'ye göre bir yapının taban yalıtım tasarımı binalarda, tanklarda ve silolarda aynıdır. Zaman tanım alanında bir analiz gerektiğinde, üç adet sismik kayıt kullanılması yeterlidir (Eurocode8, 2003). Aynı yönetmelikte 10.6.'da önem sınıfı IV olan binalarda, potansiyel deprem büyüklüğü  $M_w \geq 6,5$  olan, aktif faydan uzaklığı 15 km'den daha az olan yapılarda sahaya özgü spektrumlar önerilmektedir. Çelik tankların darbesel titreşim modu için sönüm oranı %2 ve devinimsel titreşim modu için sönüm oranı %0,5 olarak alınması belirtilmektedir. Sert olmayan zeminlerde, tankların darbesel sönüm oranlarının belirlenmesinde zemin-temel-tank sisteminin etkileşimi sonucu gerçekleşen etkili sönüm oranı dikkate alınmalıdır (Eurocode8, 2003). Amerikan Petrol Enstitüsü'nün tasarım yönetmeliği (API 650, 2020) kapsam kısmında sismik yalıtımlı tankların bu ekin kapsamı dışında kaldığı ifade edilmektedir. Bunun yanında bu ekte yer alan tasarım prosedürleri, darbesel modu için %5 sönümlü tepki spektrumuna ve devinimsel modu için %0,5 sönümlü spektruma dayanmaktadır. Tank, zemin sınıfı F tipi sahada bulunduğu, yer hareketinin sahaya özel tespiti gereklidir (API 650, 2020). Amerikan tasarım yönetmeliği (ASCE7, 2016) 9.13.4.6.4'te zaman tanım alanında analizi için en az üç deprem kaydı kullanılması gerektiği ifade edilmiştir. 9.12.6.3.3'te taban yalıtımlı tankların tasarım yer değiştirmeleri buna göre hesaplanan

kuvvetler ve diğer tasarım parametreleri için 9.13.3 veya 9.13.4'te binalarda taban yalıtım esaslarının kullanılması tavsiye edilmektedir. Yeni Zelanda yönetmeliğinde yapı-sıvı etkileşimini temsil eden esnek kütle, rijit darbesel kütle ve devinimsel kütle olmak üzere toplam üç kütleli basitleştirilmiş model kullanılmaktadır (NZSEE, 2009). Bu çalışma kapsamında incelenen diğer yönetmeliklerde iki kütleli model önerilmektedir (ASCE7, 2016; Eurocode8, 2003). Devinimsel mod için %0,5, darbesel mod için %5 sönüm önerilirken, zemin-yapı etkileşiminden kaynaklanan ek radyasyon sönümlemesinin de dikkate alınması bu yönetmelikte belirtilmektedir. C5.1 kapsam bölümüne taban yalıtımlı tankların dahil olmadığı belirtilmiştir (NZSEE, 2009). Ülkemizde kullanılan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) 1.1.7'de ise "Binalar ve bina türü yapıların dışında kalan köprüler, barajlar, kıyı ve liman yapıları, tüneller, boru hatları, enerji nakil hatları, nükleer tesisler, doğal gaz depolama tesisleri gibi yapılar, tamamı yer altında bulunan yapılar ve binalardan farklı hesap ve güvenlik esaslarına göre projelendirilen diğer yapılar bu yönetmeliğin kapsamı dışındadır." ifadesi yer almaktadır. Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği'nde (TBHSSDDTY, 2021) deprem yalıtımlı tankların analiz ve hesap esasları bölüm 6'da verilmiş ancak bu bölümün sadece hesaplarda tank ve sıvının dinamik davranışıyla ilgili modelleme esaslarının verildiği, bu kapsam dışındaki tüm hususlar için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY, 2018) atıfta bulunmaktadır. Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği'nde (TBHSSDDTY, 2021) zaman tanım alanında hesap için seçilecek deprem kaydı takımlarının sayısı en az yedi olması gerektiği belirtilirken, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) 14.14.4.4'te "doğrusal olmayan hesap her deprem yer hareketi seviyesinde ve her doğrultuda 5.7.2.1'e göre en az on bir kayıt çifti için tekrarlanacak, ilgili deprem seviyesinde ve doğrultuda yapılan hesaplarda elde edilen en büyük değerlerin ortalamaları tasarıma esas değer olarak dikkate alınacaktır." ibaresi yer almaktadır. Bunların yanında ilgili yönetmelikte, özel deprem yalıtımı veya enerji sönümleme sistemleriyle donatılmış tankların yer alacağı sahalar için sahaya özel deprem tehlikesi çalışması yapılarak ilgili deprem yer hareketi spektrumlarının oluşturulması gerekliliği yazılmıştır. Sönüm ise şöyle tariflenmiştir: "Yerel Zemin Sınıfı ZA veya ZB olan sahalarda bulunan tankların darbesel titreşim modu için çelik tanklar ve ön germeli betonarme tanklarda sönüm oranı %2 ve betonarme tanklarda %5 olarak alınacaktır. Sert olmayan zeminlerde yer alan tankların darbesel sönüm oranlarının belirlenmesinde zemin-temel-tank sisteminin etkileşimi sonucu gerçekleşen etkili sönüm oranı göz önüne alınacaktır. Devinimsel titreşim modu için sönüm oranı %0,5 olarak alınacaktır." Tablo 1'de yukarıda incelenen yönetmeliklerde kullanılması önerilen sönüm oranları, kullanılan kütle sayısı özetlenmiştir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizlerde, deprem kayıtlarının ölçeklemesi için spektrumla uyumlu hale getirme yanında basit ölçekleme metodunun da kullanılabileceği belirtilmektedir (TBHSSDDTY, 2021). Yalıtımlı tanklarda deprem ölçeklendirme yöntemlerinin karşılaştırılmasıyla ilgili çalışmalar çoğaltılmalıdır.

**Tablo 1.** Seçilen tankın donam sac kalınlıkları.

Yönetmelik	Sönüm (Darbesel)	Sönüm (Devinimsel)	Kütle Sayısı
ASCE7, 2016	% 5	% 0,5	2
Eurocode8, 2003	% 2	% 0,5	2
NZSEE, 2009	% 5	% 0,5	3
TBHSSDTDY, 2021	% 2	% 0,5	2

Son yıllarda taban yalıtımlı tanklara ait gelişmiş sonlu elemanlar ve yapı-sıvı etkileşimli çalışmalar yaygınlaşmaktadır. Aslam tarafından hazırlanan çalışmada, yer hareketlerine maruz kalan eksenel simetrik tankların çalkantı dalgalarını tahmin etmek için sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır (Aslam, 1981). Sismik olarak yalıtılmış silindirik sıvı depolama tanklarının akışkan-yapı etkileşimi dikkate alınarak değerlendirilmesine yönelik birleşik bir çalışma bir başka yalıtım sistemleri kullanılan tanklarla ilgili çalışmaya örnektir (Shekari ve ark., 2009). Chen ve Xue, açık kaynaklı hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı olan OpenFOAM kullanılarak, dolmuş seviyesi, uyarma frekansı ve genliğinin sıvı çalkantısı üzerindeki etkilerini araştırmak için bir dizi sayısal simülasyon gerçekleştirmiştir (Chen ve Xue, 2018). Paolacci yükseltilmiş tanklarda iki farklı taban yalıtım sisteminin etkinliğini araştırmıştır (Paolacci, 2015). Spritzer ve Güzey dünyada yaygın olarak kullanılan tank tasarım yönetmeliklerini doğrusal tasarım ilkeleri bakımından incelemiştir (Spritzer ve Güzey, 2017). Kanyılmaz ve Castiglioni, depremlerin etkilerini azaltmak için yükseltilmiş siloların altında yalıtım birimlerinin kullanımını araştırmıştır (Kanyılmaz ve Castiglioni, 2017). Dinçer, tanklarda yapı-sıvı etkileşimini gözeterik depremlerin neden olduğu çalkantı üzerinde çalışmıştır (Dinçer, 2019). El-Centro depremine maruz kalan silindirik çelik su depolarının yön-deformasyon analizi yapı-sıvı etkileşimi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir (Çelik ve ark., 2018).

Taban yalıtımlı tankların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri için deprem ölçeklendirme yöntemleri üzerine araştırmalar sınırlıdır ve yönetmelikler arasında kabullerde önemli farklar vardır. Ayrıca tanklarda kullanılan yalıtım sistemleri için kuvvet-yer değiştirme istemi hesaplamaları yönetmeliklerde taşıyıcı sistemi binalara benzeyen yapılar için uygundur. Ülkemizdeki yönetmeliklerde kapsamla ilgili ek çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, doğrusal olmayan analiz prensiplerinin ve ölçekleme yöntemlerinin etkilerini karşılaştırmak için üç farklı yöntemde deprem kayıtları ölçeklenmiştir. Taban yalıtım etkisini araştırmak için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) dikkate alınarak yalıtım sistemi tasarlanmıştır. Tasarım ilkeleri birbirine benzediği için kuvvet & yer değiştirme grafiği Avrupa ve Amerikan yönetmelikleri (ASCE7, 2016; Eurocode8, 2003) ilkelerini de sağlayacak şekilde seçilmiştir. Sonrasında yapı-sıvı etkileşimi dikkate alınarak doğrusal olmayan analizler yapılmıştır. Tankların sismik tepkisini anlamak için tankların taban kesme kuvvetleri, yalıtım birimi yer değiştirmeleri, hidrodinamik gerilmeler ve çalkalanma dalgası yükseklikleri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlarla taban yalıtımı tasarımında doğrusal olmayan analizler prensipleri belirlenirken tanklar için daha uygun yaklaşımlar belirlenmeye çalışılmıştır.

## 2. Tank ve Yalıtım Sisteminin Ön Tasarımı ve Sayısal Model Doğrulanması

Amerikan Petrol Enstitüsü'nün tasarım yönetmeliği (API 650, 2020) ve Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği'nde (TBHSSDDTY, 2021) kullanılarak devinim ve salınım periyotları bulunmuş ve karşılaştırılmıştır. Tankın çapı 20 m, yüksekliği 10 m'dir. İçerisindeki sıvının su olduğu varsayılmış ve yüksekliği 9 m olarak belirlenmiştir. Çelik malzeme olarak S275JR kullanılmıştır. Amerikan Petrol Enstitüsü'nün tasarım yönetmeliği API 650'ye göre denklem (1) ve denklem (2) ile hesaplanan darbesel periyot 0,15 sn., devinimsel periyot ise 4,82 saniyedir (API 650, 2020). Burada  $T_c$  devinimsel,  $T_i$  darbesel periyodu,  $D$  tank çapını,  $\rho$  yoğunluğu,  $K_s$  devinimsel periyot hesaplama katsayısını,  $H$  yüksekliği,  $t_u$  eşdeğer tank duvar kalınlığını,  $E$  elastisite modülünü göstermektedir.

$$T_c = 1.8K_s\sqrt{D} \quad (1)$$

$$T_i = \left(1/\sqrt{2000}\right) \left(C_i \times H / \sqrt{t_u/D}\right) \left(\sqrt{\rho}/\sqrt{E}\right) \quad (2)$$

Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği'ne (TBHSSDDTY, 2021) göre denklem (3) ve denklem (4) ile hesaplanan tankın darbesel periyodu 0,15 sn., devinimsel periyodu ise 4,81 saniyedir. Tasarımlar için deprem bölgesi olarak Gebze Organize Sanayi Bölgesi kullanılmıştır (URL-3, 2020). Çalışmadaki tankın donam sac kalınlıkları Tablo 2'de sunulmuştur. Burada  $\sigma$  tank cidarında oluşan gerilmeleri,  $F_y$  akma gerilmesini,  $t_{min}$  hesapla bulunan sac kalınlığını,  $R$  tank yarıçapını,  $C_c$  devinimsel periyot hesaplama katsayısını,  $C_i$  darbesel periyot hesaplama katsayısını,  $t_w$  eşdeğer tank duvar kalınlığını, göstermektedir.

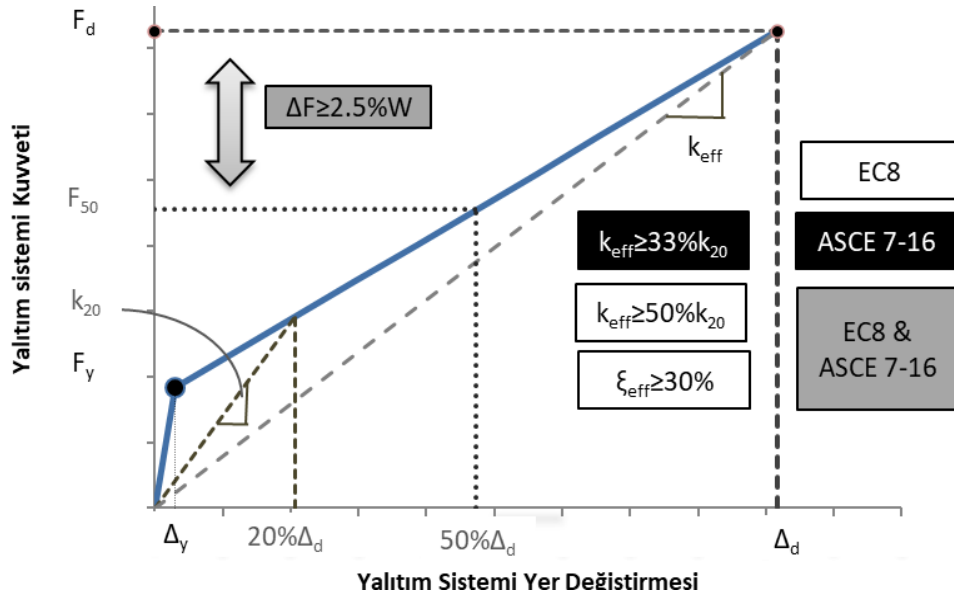
$$T_i = C_i \times H \left(\rho \times R / t_w \times E\right) \quad (3)$$

$$T_c = C_c\sqrt{R} \quad (4)$$

**Tablo 2.** Seçilen tankın donam sac kalınlıkları.

Özet	$\sigma_{T+}$ (MPa)	$\sigma_{T-}$ (MPa)	$F_y*0.9*E$	$t_{min}$	Kalınlık
Donam1 (0-2m)	145,3	67,8	195,2	7.7 mm	10 mm
Donam2 (2-4m)	115,7	48,3	195,2	6.1 mm	8 mm
Donam3 (4-6m)	112,2	41,2	195,2	4.5 mm	6 mm
Donam4 (6-8m)	67,3	20,8	195,2	2.7 mm	6 mm
Donam5 (8-10m)	21,8	1,0	195,2	0.9 mm	6 mm





**Şekil 1.** Yalıtım sistemi kuvvet & yer değiştirme grafiği belirleme kuralları (ASCE7, 2016; Eurocode8, 2003).

Deprem yalıtım sistemi ön tasarımına ilişkin parametrelerin hesaplanması amacıyla tanklara uygun kuvvet-yer değiştirme grafikleri Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY, 2018) göre belirlenmiştir. Ayrıca bulunan kuvvet & yer değiştirme grafiği Avrupa ve Amerikan yönetmelikleri (ASCE7, 2016; Eurocode8, 2003) şartlarını da sağlayacak şekilde belirlenmiştir. (Şekil 1) Kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimi seçilmiştir. Kurşun çekirdek çapı 25 cm, tüm çapı 60 cm olan 60 adet yalıtım birimi kullanılmıştır. Yalıtım biriminin etkin akma dayanımı 55 kN, etkin akma yer değiştirme 1,2 cm, başlangıç (elastik) rijitliği 4673 kN/m, ikincil (elastik ötesi) rijitlik ise 467 kN/m ve hedef yer değiştirme 29 cm seçilmiştir. Hedef yer değiştirmesine karşılık gelen etkin rijitlik 638 kN/m olarak hesaplanmıştır. Hesaplarda alt ve üst sınırlar dikkate alınmamış, nominal rijitlik kullanılmıştır. Etkin sönüm oranı %18 olarak belirlenmiştir. Yalıtım sisteminin düşey rijitliği TBDY'de (TBDY, 2018) elastomer yalıtım birimleri için tanımlanan denklemlerle hesaplanmıştır. Çekme ve basınç altında aynı rijitlik olduğu varsayılmış ve düşey ekseninde doğrusal yaylar ile modellenmiştir. Düşey rijitlik 8217396 (kN/m) olarak hesaplanmıştır.

## 2.1. Sonlu Eleman Modeli Kabulleri

Sonlu elemanlar modelindeki en önemli husus yapı-sıvı etkileşimini tanımlamaktır. Bu tanımlama ANSYS'te "Explicit Dynamic" analizde Eulerian ve Lagrangian cisimleri arasındaki etkileşim kullanılarak modellenebilmektedir (ANSYS, 2018). Bir diğer yöntem ise "Fluent" ve "Transient Structural" analizlerini yapıp bunları "Coupled" analizle birleştirmektir. Bu çalışma kapsamında ikinci olarak tariflenen yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem için çalkantı hareketini ANSYS Fluent'te tanımlamak amacıyla rastgele yatay sinüzoidal dalga tanımlanmıştır (ANSYS, 2018). Daha sonra tank duvarları ile sıvı arasında arayüzler (interface) tanımlanmıştır. Arayüz modeli

olarak keskin (sharp) tip kullanılmıştır. Yer çekimi için, 1 g'lik bir dikey ivme uygulanmıştır. Tank yapısı, ANSYS Transient'te kabuk elemanları (Shell 281) kullanılarak modellenirken, sıvı alanı (Solid 186) elemanları kullanılarak modellenmiştir (ANSYS, 2018). Her düğümde, kabuk elemanların altı serbestlik derecesi vardır: üçer öteleme ve dönme. Akışkan elemanların düğüm noktası başına dört serbestlik derecesi vardır: x, y ve z yönlerindeki ötelemeler ve basınç (Moslemi ve Kianoush, 2016). Yalıtım birimlerini, ANSYS Workbench yazılımına tanıtmak için "COMBIN14" elemanları kullanılmış, doğrusal olmayan davranışı tanıtabilmek için bu elemanlar büyük şekil değiştirme kapasitesi olan "COMBIN39" a dönüştürülmüştür (ANSYS, 2018). Yalıtım biriminin aksenel (dikey) davranışını modellemek için, doğrusal elastik yay kullanılmıştır. (COMBIN 14). Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz için Newmark yöntemi kullanılmıştır. Modellemelerde malzemelerin doğrusal olmayan davranışları dikkate alınmıştır. İki analiz birbirine "Coupled" analizle birleştirilmiştir. Bu sayede akış analizinden elde edilen kuvvet bileşenleri, yapısal tasarıma aktarılmakta, bu kuvvetlerden elde edilen şekil değiştirmeler de akış analizine geri iteratif olarak aktarılmaktadır. Bu varsayımlara dayalı olarak, ANSYS'te doğrusal olmayan modeller oluşturulmuştur (ANSYS, 2018). Bu matematiksel modellerde kullanılacak akışkan alanının kılavuz denklemleri ve sonlu eleman formülasyonu aşağıda ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır (Kılıç, 2022). Buna göre, tabanın rijit olduğu varsayılmaktadır. Akışkanın sıkıştırılmaz ve viskoz olmadığı; akış lamine olduğu önemli varsayımlardır. Her noktada Laplace denklemi sağlandığı varsayılır.

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (5)$$

$$\phi = \phi(x, y, z, t) \quad (6)$$

Denklem (5) ve (6), zamana bağlı sınır koşulları ile sonlu elemanlar metodu kullanılarak çözülür. Burada akışkanla temas halindeki katının sınırının yüzeyine normal olan yön farkı  $d/d_n$ , tank duvarının normal hızı  $v_n$  ile gösterilir (Denklem (7)).

$$d\phi/dn = v_n \quad (7)$$

Serbest yüzey için denklem (8), denklem (9)'te, Bernoulli kanunu geçerlidir (Pal ve ark., 2017).

$$d\phi/dt + g\delta = -1/\rho p_0 \quad (8)$$

$$d\delta/dt - d\phi/dy = 0 \quad (9)$$

$g$  yerçekimi ivmesini,  $\rho$  sıvı yoğunluğunu,  $y=f(x,z,t)$  serbest yüzey denklemini ve  $p_0(x,z,t)$  yüzey basıncını ifade etmektedir. Yukarıdaki iki denklemden  $\delta$  çıkarılarak, tek bir denklem (10)

bulunur. Serbest yüzeyde, çoğu durumda  $p_0$ =sabit olduğu varsayılır, bu nedenle  $dp_0/dt$  kaybolur ve denklemler, aşağıdaki denklem (11)'e dönüşür (Pal ve ark., 2017).  $B_2$  sıvının serbest yüzeyini göstermektedir. Galerkin Sonlu Elemanlar Metoduna dayanarak, bilinmeyen alan değişkeni  $\phi$  denklem (12) ile ifade edilir (Kılıç, 2022).

$$d^2\phi/dt^2 + g d\phi/dy = 1/\rho dp_0/dt \quad (10)$$

$$d^2\phi/dt^2 + g d\phi/dy = 0 \text{ on } B_2 \quad (11)$$

$$\phi = \sum_1^n N_j(x, y, z)\phi_j(t) \quad (12)$$

$N_j$  şekil fonksiyonlarını,  $\phi_j(t)$  ise alan değişkenini,  $\phi$  zamana bağlı düğüm değerlerini ifade eder. Tipik bir düğüm için denklemlerde  $\phi$  yerine koyulursa denklem (13) elde edilir. Akışkan içermeyen yüzey kütle matrisi, akışkan rijitlik matrisi ve akışkan vektörü sırasıyla  $M_f$ ,  $K_f$  ve  $F_p$ 'dir.

$$[M_f]\{\ddot{\phi}\} + [K_f]\{\phi\} = \{F_p\} \quad (13)$$

Hesaplanan  $\phi$  değerleri, belirtilen herhangi bir zaman adımında çalkantı yer değiştirmesini denklem (14) ile ve hidrodinamik basıncı denklem (15) ile türetmek için kullanılır (Pal ve ark., 2017).

$$\delta = -1/g d\phi/dt \quad (14)$$

$$p = -\rho d\phi/dt \quad (15)$$

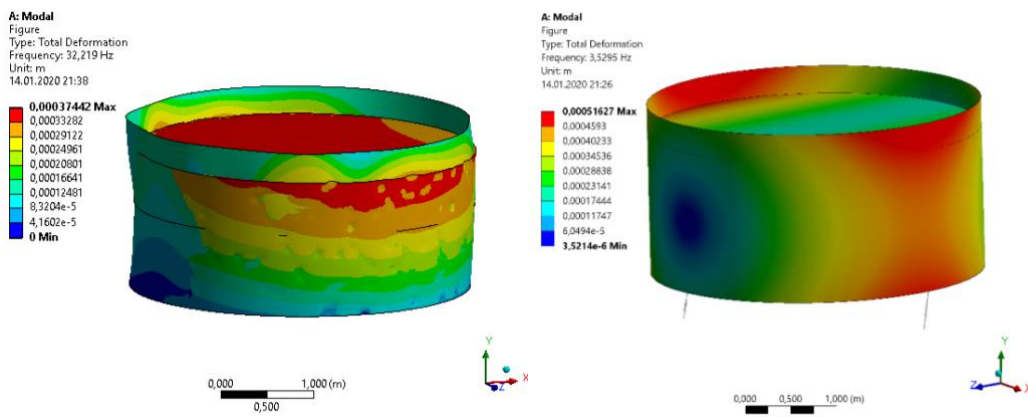
Eleman rijitlik ve kütle matrisleri Gauss kareleme metodu kullanılarak sayısal olarak hesaplanır ve daha sonra tank duvarının global  $[K_s]$  ve  $[M_s]$  matrislerini elde etmek için denklem (16)'da gösterildiği gibi birleştirilir Tank duvarının genelleştirilmiş düğüm ivmeleri ve yer değiştirmeleri sırasıyla  $\{\ddot{d}\}$  ve  $\{d\}$  ile gösterilir. Birleştirilmiş sıvı-elastik sistem için  $\{F\}$  genelleştirilmiş kuvvet vektörüdür ve denklem (17) ile ifade edilebilir (Pal ve ark., 2017).  $\{F_e\}$  dış düğüm kuvvetlerini ve  $\{F_p\}$  sıvı salınımı tarafından oluşturulan basıncın bir sonucu olarak tank duvarı tarafında uygulanan düğüm kuvvetlerini ifade eder. Bu denklemler sistemi, birleştirilmiş yapı sıvı sistemini tanımlayan birleştirilmiş ikinci mertebeden adi diferansiyel denklemlerdir. Bu denklem kümeleri çözülür ve iki alan arasındaki etkileşim etkisi, bulunur.

$$[M_s]\{\ddot{d}\} + [K_s]\{d\} = \{F\} \quad (16)$$

$$\{F\} + \{F_e\} = \{F_p\} \quad (17)$$

## 2.2. Sayısal Modellemenin Doğrulanması

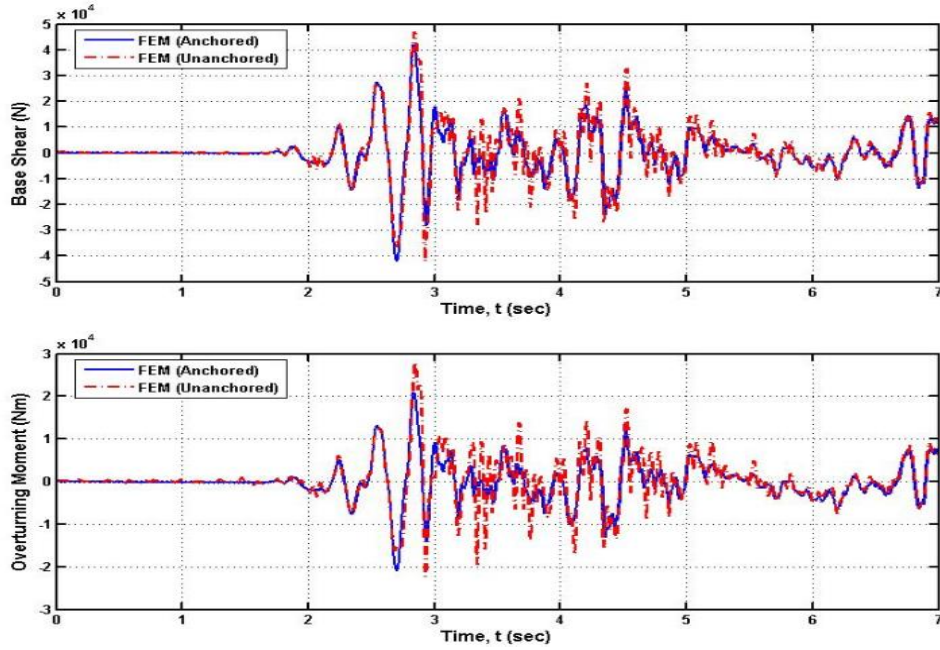
Sayısal modeli doğrulamak için Özdemir ve arkadaşları tarafından yapılan tankın doğrusal elastik olmayan geometrik ve malzeme davranışlarını ve içerikteki sıvının serbest yüzeyinin lineer olmayan çalkalanmasını dikkate alan, sonlu elemanlar metodunun sıvı-katı etkileşimi teknikleri kullanılarak gerçek yer hareketine maruz, zemine oturan çelik silindirik sıvı ihtiva eden tankların gerçek davranışlarını inceleyen çalışmaları kullanılmıştır (Özdemir, 2010; Özdemir ve ark., 2010). Modelin geometrik özellikleri şu şekildedir: Çap: 3,66 m, Yükseklik: 1,83 m, Et Kalınlığı: 2 mm ve sıvı Yüksekliği: 1,53 m'dir. Tank sabit tabanlı ve su doludur. Tankın yapıldığı malzeme alüminyumdur. Yoğunluğu  $2700 \text{ kg/m}^3$ , elastisite modülü 71 GPa ve akma dayanımı 100 MPa'dır. Bu doğrulama sırasında Özdemir tarafından yapılan çalışmadaki model için modal analiz yapılarak çalışmadaki periyotlar elde edilmeye çalışılmıştır (Özdemir, 2010). Ayrıca tezde verilen El-Centro kaydı altında bulunmuş taban kesme kuvvetleri ve devrilme momentleri yapılan doğrulama modeliyle kıyaslanmıştır. El Centro 1940 depreminin 0,50 g tepe ivmesine sahip kuzey-güney yönündeki yatay bileşeni ve 1/3 oranında ölçeklendirilmiş ilk 7 saniyelik kısmı prototip modelde kullanıldığı için, bu çalışmada da aynı kayıt kullanılmıştır. Tanka uygun yalıtım birimi boyutu hesaplanmış ve modele eklenmiştir. Tek serbestlik dereceli sisteme dönüştürülen sistemin elle hesaplanan periyodu ile ANSYS'te yapılan modal analiz sonucu elde edilen periyot kıyaslanmıştır (ANSYS, 2018). Elle hesaplanan devinim periyodu 0.039 s, ANSYS'te yapılan modal analiz sonucunda ise devinim frekansı Şekil 2'de görüldüğü gibi 33,2 Hz, yani devinim periyodu 0,031 s'dir (ANSYS, 2018). El-Centro kaydı altında elde edilen taban kesme kuvveti 51051 N, devrilme momenti ise 32745 Nm'dir.



Şekil 2. a) Yalıtımsız Tank Modal Analiz Sonuçları, b) Yalıtımlı Tank Modal Analiz Sonuçları.

Şekil 3'te Özdemir'in çalışmasından elde edilen taban kesme kuvveti ve devrilme momenti görünmektedir (Özdemir, 2010). Doğrulama modelinden elde edilen değerler ANSYS'teki değerlerle oldukça yakındır (ANSYS, 2018). Yalıtımlı modelden elde edilen frekans 3,5 Hz, yani darbesel periyodu 0,285 s'dir. Elle yapılan hesaplarda bulunan yalıtım periyodu ise 0,395 s'dir. Sonuçlar

modellemenin doğru yapıldığını kanıtlayacak derecede yakınlıktadır. Sayısal modelde kullanılacak parametreler bu şekilde doğrulanarak, belirlenmiştir.



Şekil 3. El-Centro kaydı geçmişi: taban kesme kuvveti ve devrilme momenti (Özdemir, 2010).

### 3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz Sonuçları

Doğrusal analizlerin ardından, tanklar 3 adet deprem yer hareketine (DYH) maruz bırakılmıştır.

#### 3.1. Deprem Yer Hareketlerinin Seçimi ve Ölçeklendirmesi

Tablo 3, seçilen deprem kayıtlarının özelliklerini göstermektedir. Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için, PEER (Pasifik Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi) veri tabanından üç kayıt seçilmiştir (URL-2, 2019). Seçilme ve ölçekleme sırasında deprem büyüklükleri, fay uzaklıkları, kaynak mekanizmaları ve yerel zemin koşulları dikkate alınmıştır. Doğrusal analiz için %5'lik sönüm oranı kullanılmıştır. Kayıtların etkin (anlamlı) süreleri, SeismoSignal yazılımında "Arias Yoğunluğu" yöntemiyle hesaplanmıştır (SeismoSignal, 2020). PEER'den seçilen kayıtlar mevcut tüm ölçekleme yöntemleri kullanılarak ölçeklenmiştir (URL-2, 2019). Basit ölçekleme için PEER (URL-2, 2019) veri tabanının kendi sayfası kullanılmıştır. SeismoMatch yazılımı kullanılarak zaman ve frekans tanım alanında spektral eşleştirmeye ölçekleme yapılmıştır (SeismoMatch, 2020).

Tablo 3. Seçilen deprem kayıtları.

İstasyon Adı	Yıl	Kayıt Adı	Büyükölük ( $M_w$ )	$V_{s30}$ (m/s)	Süre (sn)	Pga(g)
Cerro Prieto	1979	Imperial Valley	6,53	471,53	16	0,57
Coyote Lake Dam-SW A	1989	Loma Prieta	6,93	561,43	16	0,34
Sunland-Mt Gleason Ave	1994	Bilgi satırı	6,69	402,16	16	0,37

Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği'ne (TBHSSDTDY, 2021) göre: yalıtımsız tank tasarımında, spektrumla eşleştirme yöntemleri gibi basit ölçekleme yöntemi de kullanılabilir. “Ölçeklendirilen deprem kayıt takımlarının yatay bileşenlerinin en büyük doğrultu yönündeki spektral genliklerinin ortalaması  $0.8T_i$  ve  $1.2T_c$  periyodları arasındaki periyodlar için hedef performans esas yatay tasarım spektrum ( $S_{ae}$ ) genliklerinden daha düşük olamaz. “İfadesi basit ölçekleme için verilmiştir. Sismik yalıtım kullanılan tanklar için Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) sunulan ilkeler önerilmektedir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) ise yalıtımlı tanklar için özel bir madde bulunmayıp, taşıyıcı sistemi binalara benzer yapılar için verilen kurallar tanımlanmıştır: “Deprem yalıtımlı binaların zaman tanım alanında deprem hesabında kullanılacak deprem kayıtlarının seçiminde 2.5'te verilen kuralların tümü geçerlidir. Ancak 2.5.2'de tanımlanan  $0.2T_p$  yerine  $0.5T_M$  ( $T_M$  en büyük yer değiştirme altında deprem yalıtımlı binanın üst sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu),  $1.5T_p$  yerine ise  $1.25T_M$  ( $T_M$  en büyük yer değiştirme altında deprem yalıtımlı binanın alt sınır değerleri ile hesaplanmış etkin titreşim periyodu) kullanılacaktır.”

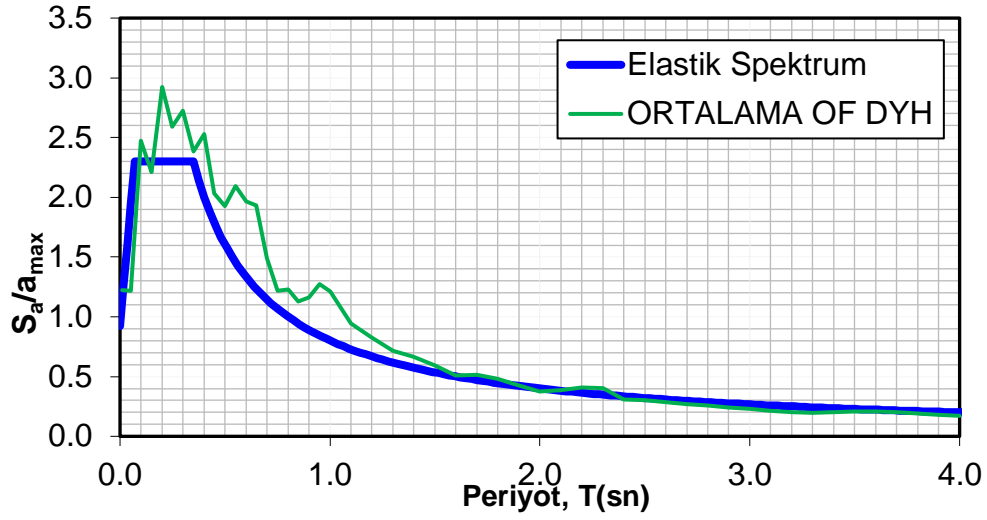
$T_M$  denklem (18) ile hesaplanmıştır. Özellikle yalıtımlı tanklar için, basit ölçeklendirme yöntemi periyot aralığı yönetmeliklerde (TBDY, 2018; TBHSSDTDY, 2021) belirgin şekilde net değildir. Tablo 4'te bu aralıklar hesaplanmış ve sunulmuştur. Bu ölçekleme yapılırken, seçilen tüm kayıtlara ait spektrumların ortalamasının, Tablo 4'te verilen en alt ve en üst sınırlar arasındaki genliklerinin tasarıma esas alınan hedef spektrumun aynı periyot aralığındaki genliklerinden daha küçük olmaması kuralına göre, ölçekleme yapılmıştır (Şekil 4).  $W$ ,  $g$ ,  $K_M$ ,  $H$ ,  $D$ ,  $T_i$  ve  $T_c$  sırasıyla sismik ağırlığı, yer çekimini, en büyük deprem yer hareketi yer değiştirmesi seviyesinde yalıtım sisteminin nominal etkin rijitliğini, tank yüksekliğini, çapını, tankın darbesel periyodunu ve devinimsel periyodunu göstermektedir.

$$T_M = 2\pi \sqrt{W/gK_M} \quad (18)$$

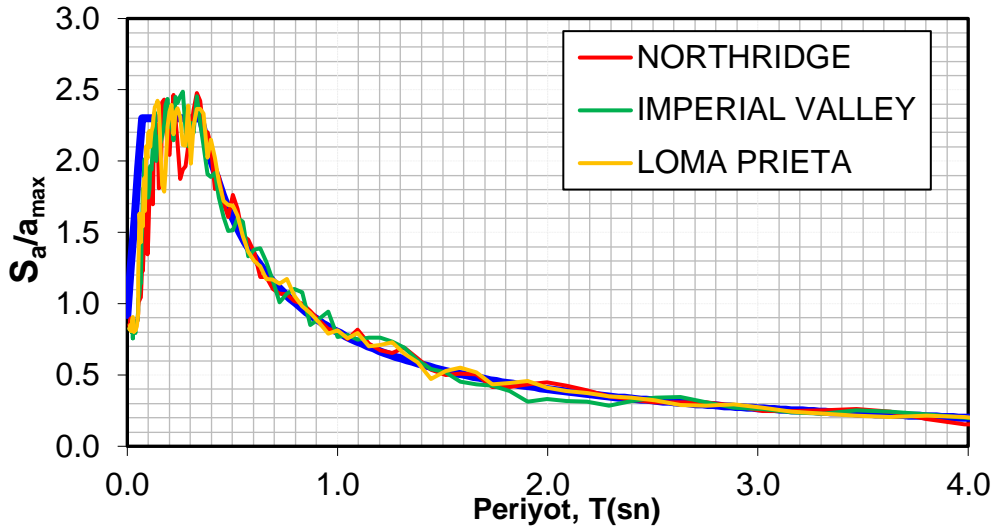
**Tablo 4.** Basit ölçekleme için tank periyot aralıkları.

D	H	$T_i$	$T_c$	$0,8*T_i$	$1,2*T_c$	$T_M$	$0,5*T_M$
20 m	10 m	0,15 sn	4,82 sn	0,12 sn	5,784 sn	1,67 sn	0,57

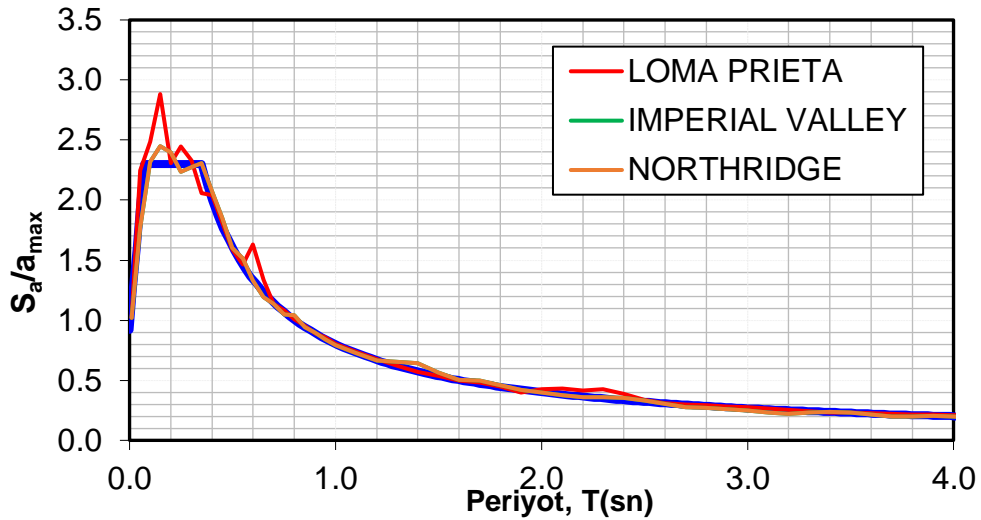
Basit yöntemle ölçeklendirilmiş Loma Prieta (1989), Northridge (1994) ve Imperial Valley (1940) güçlü yer hareketi kayıtlarının spektrumları Şekil 4'te elastik spektrum üzerinde gösterilmiştir. Daha sonra, frekans alanında spektrumla uyumlu hale getirilerek ölçeklenmiş aynı kayıtlar Şekil 5'te elastik spektrum üzerinde ve zaman tanım alanında ölçeklenmiş kayıtlar, Şekil 6'da elastik spektrum üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 4. Basit metotla ölçeklenmiş kayıtlara ait spektrumlar ve tasarıma esas alınan hedef spektrum.



Şekil 5. Frekans tanım alanında spektrumla eşleştirilmiş kayıtlara ait spektrumlar ve tasarıma esas alınan hedef spektrum.



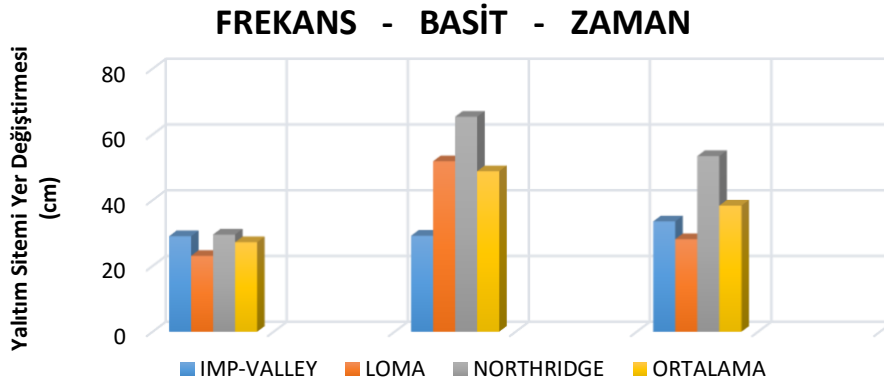
Şekil 6. Zaman tanım alanında spektrumla eşleştirilmiş kayıtlara ait spektrumlar ve tasarıma esas alınan hedef spektrum.

### 3.2. Tankların ve Yalıtım Sisteminin 3 DYH Etkisinde Sismik Değerlendirilmesi

Modal analiz sonuçlarına göre, yalıtımsız tank hâkim periyodu 0,13 sn ve yalıtımlı tank periyodu 0,79 sn.dir. Eldeki verilere göre, yalıtım birimlerin ortalama yer değiştirmeleri 27,23 cm, 48,81 cm ve 38,38 cm olarak bulunmuştur ve maksimum yer değiştirmeleri sırasıyla 29,56 cm, 65,39 cm ve 53,43 cm'dir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne (TBDY, 2018) göre hesaplanan hedef yer değiştirme 29 cm idi. Bu deplasman kriteri ayrıca Avrupa ve Amerikan yönetmelikleri (ASCE7, 2016; Eurocode8, 2003) şartlarını sağlamaktaydı. Buna göre hedeflenen deplasman değerinin frekans alanında spektrumla uyuşumu sağlanmış kayıtlar haricinde aşıldığı gözlemlenmiştir. En yüksek yalıtım sistemi yer değiştirme sonuçları ise basit metotla ölçeklenmiş kayıtlarda görülmüştür. Detaylı yalıtım yer değiştirme sonuçları Tablo 5 ve şekil 7'de sunulmuştur. Tablo 6'da doğrusal olmayan zaman tanım alanı analizinden elde edilen maksimum taban kesme kuvveti sonuçları ve taban kesme kuvveti değerlerinin tank sıvı ağırlığına bölünerek normalize edilmiş halleri sunulmaktadır. Taban yalıtımlı tanklarda taban kesme kuvvetlerinde önemli azalmalar gözlemlenmiştir. Basit metotla ölçeklenmiş kayıtlar ile zaman tanım alanında ölçeklenmiş kayıtların kullanıldığı analizlerden elde edilen taban kesme sonuçları birbirine çok yakınken, frekans alanında ölçeklenen kayıtların analiz sonuçlarından elde edilen taban kesme kuvvetleri karşılaştırmalı olarak diğer sonuçlara göre daha düşüktür (Şekil 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 ve 19). Taban yalıtımlı tanklar için de aynı sonuçlar geçerlidir. Şekil 8, 9 ve 10'da sırasıyla tüm yöntemlerle ölçeklenmiş kayıtlardan elde edilen tankın yalıtım sistemi çevrimsel davranış sonuçları sunulmuştur.

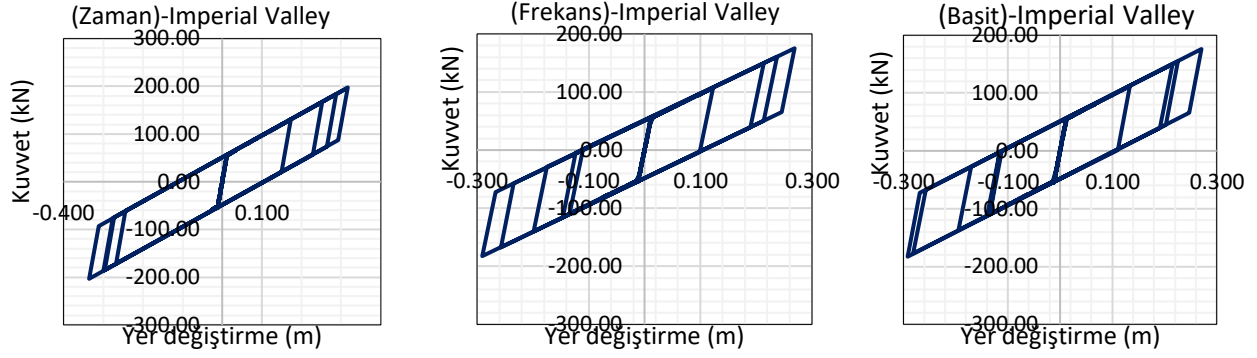
**Tablo 5.** Yalıtım sistemi yer değiştirme sonuçları.

Deprem Kaydı	Frekans Alanında Ölçeklenmiş	Basit Ölçeklenmiş	Zaman Alanında Ölçeklenmiş
Imperial Valley	29,06 cm	29,20 cm	33,56 cm
Loma Prieta	23,075 cm	51,85 cm	28,14 cm
Northridge	29,56 cm	65,39 cm	53,43 cm
Ortalama	27,23 cm	48,81 cm	38,38 cm
Maksimum	29,56 cm	65,39 cm	53,43 cm

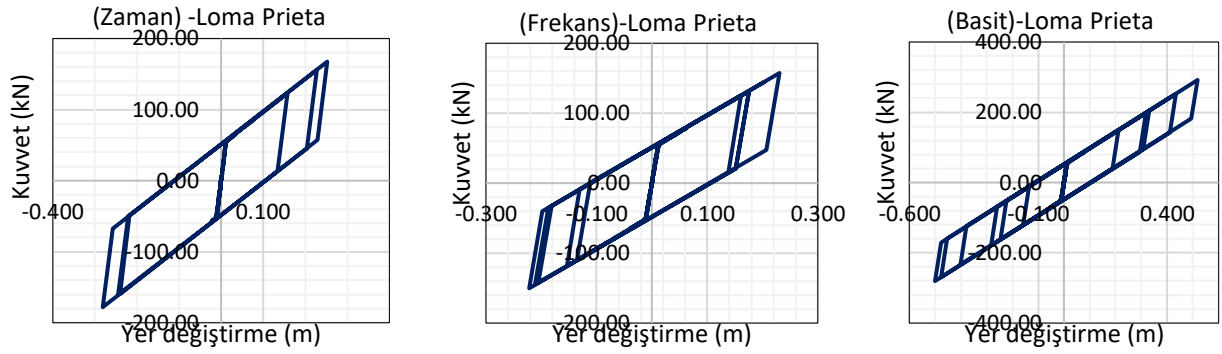


**Şekil 7.** Yalıtım birimlerinin 3 deprem yer hareketi etkisinde en büyük yer değiştirmelerinin karşılaştırması.

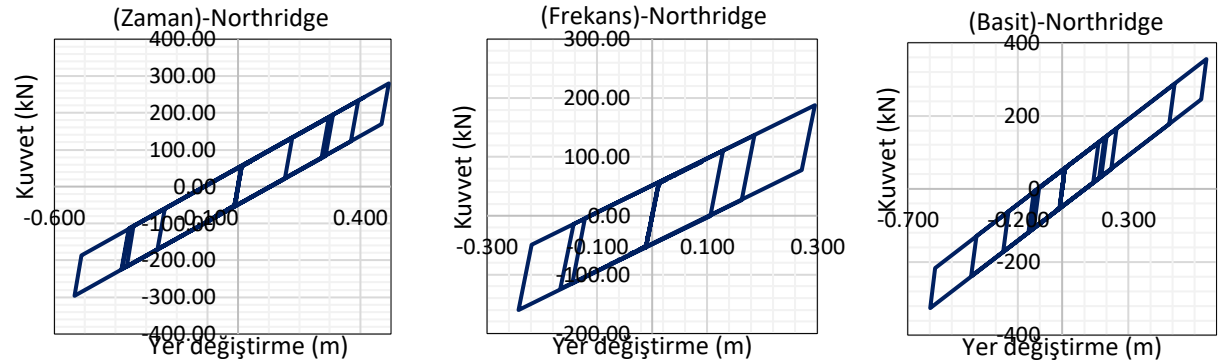




Şekil 8. a) Imperial Valley (zaman), b) Imperial Valley (frekans), c) Imperial Valley (basit), yalıtım birimleri çevrimsel davranış grafikleri.



Şekil 9. a) Loma Prieta (zaman), b) Loma Prieta (frekans), c) Loma Prieta (basit), yalıtım birimleri çevrimsel davranış grafikleri.

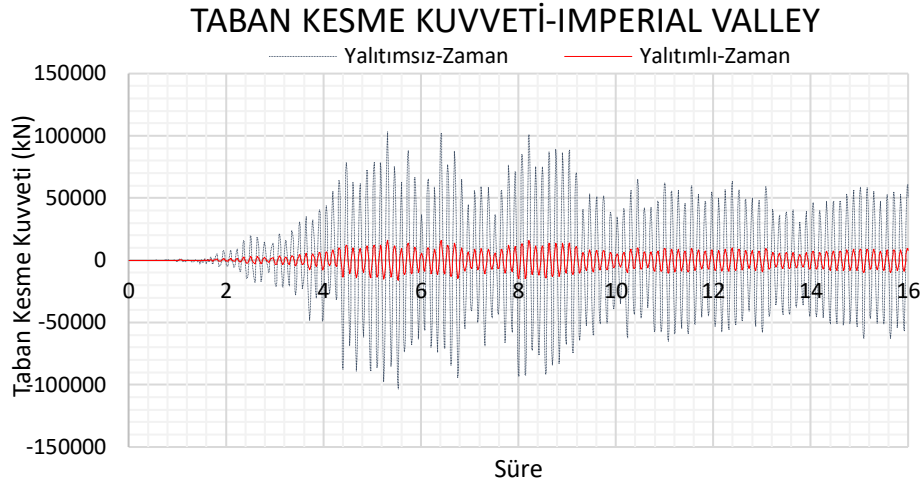


Şekil 10. a) Northridge (zaman), b) Northridge (frekans), c) Northridge (basit), yalıtım birimleri çevrimsel davranış grafikleri.

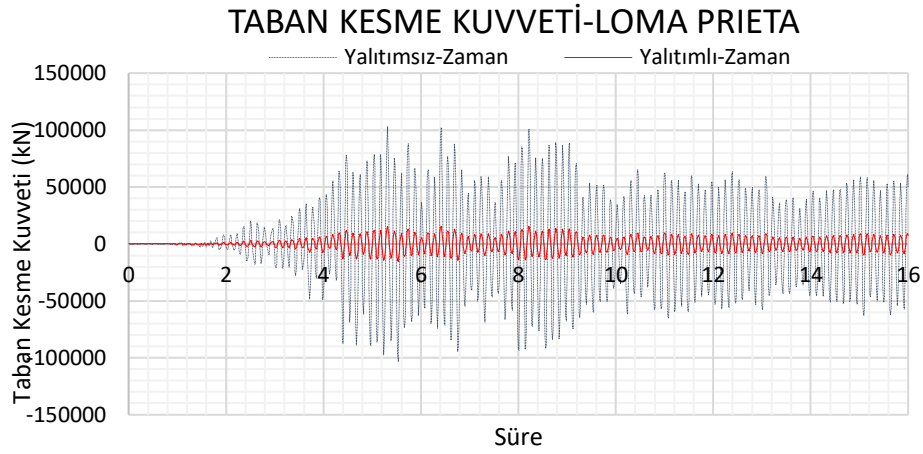
**Tablo 6.** Maksimum taban kesme kuvveti sonuçları ve taban kesme kuvveti normalize edilmiş hali.

Ölçekleme Metodu	Tank	Loma Prieta	L. Prieta	Northridge	Northridge	Imperial	I. Valley
		Taban Kesme Kuvveti (kN)	(Normal ize Edilmiş)	Taban Kesme Kuvveti(kN)	(Normal ize Edilmiş)	Valley Taban Kesme(kN)	(Normal ize Edilmiş)
Basit	Yalıtımsız	103670	3,738	77994	2,812	121660	4,386
Basit	Yalıtımlı	19487	0,703	26037	0,939	11108	0,400
Zaman	Yalıtımsız	103260	3,723	83025	2,993	121180	4,369
Zaman	Yalıtımlı	15537	0,560	29365	1,059	18919	0,682
Frekans	Yalıtımsız	102990	3,713	103880	3,745	114030	4,111
Frekans	Yalıtımlı	8681	0,313	11274	0,406	11040	0,398

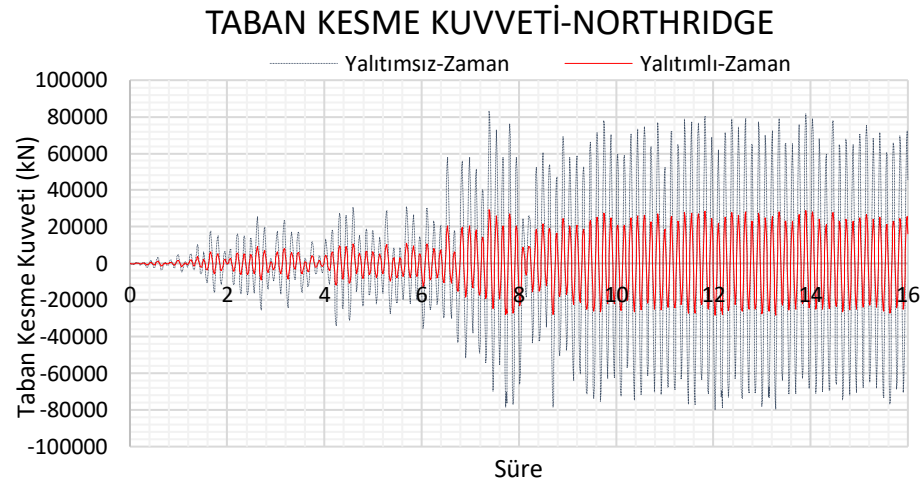
Ayrıca, her bir deprem grubu etkisinde olan yalıtımlı ve yalıtımsız tankların taban kesme kuvvetlerinin zamana bağlı değişimi, sürekli ve kesikli çizgilerle aynı şekiller üzerinde gösterilmiştir.



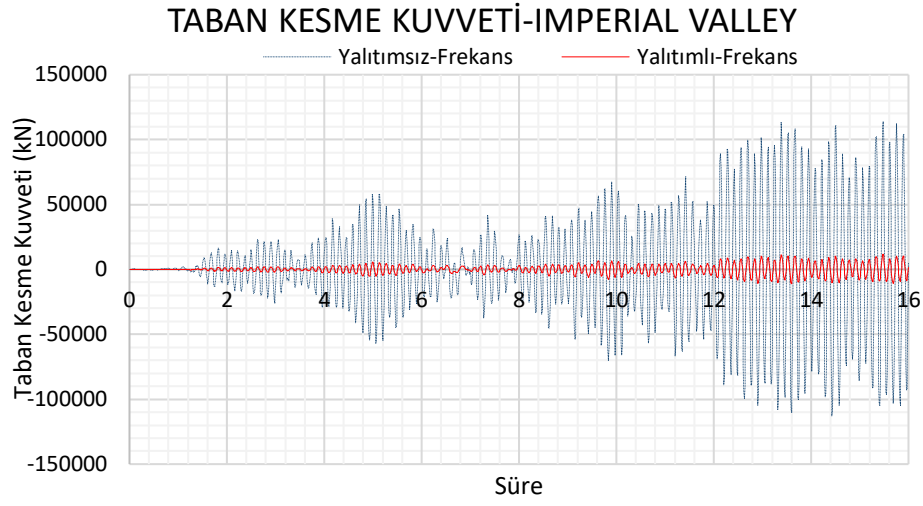
**Şekil 11.** Basit metotla ölçülen Imperial Valley kaydı altındaki taban kesme kuvveti geçmişi.



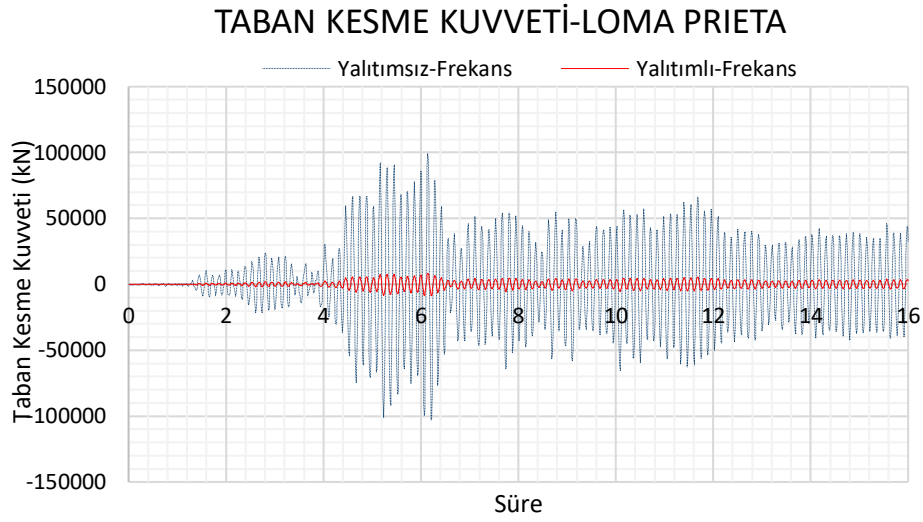
**Şekil 12.** Basit metotla ölçülen Loma Prieta kaydı altındaki taban kesme kuvveti geçmişi.



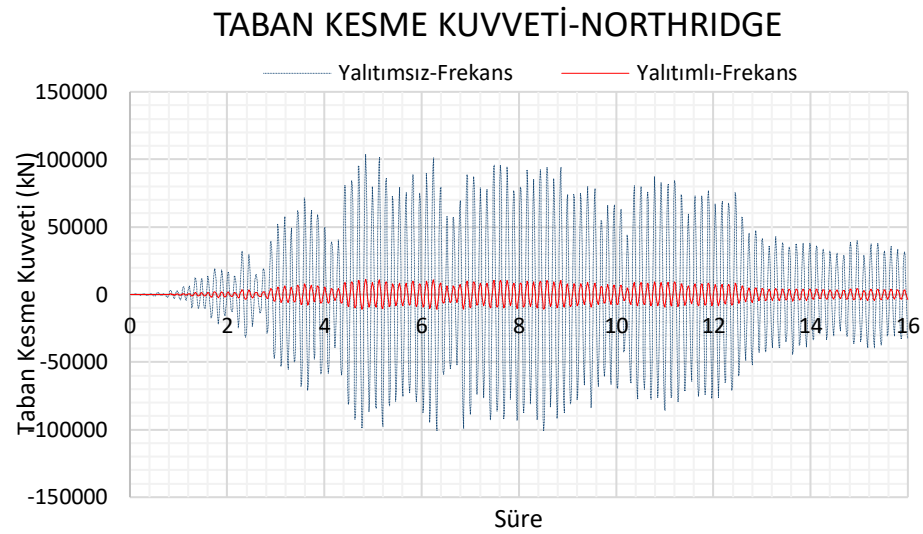
**Şekil 13.** Basit metotla ölçülen Northridge kaydı altındaki taban kesme kuvveti geçmişi.



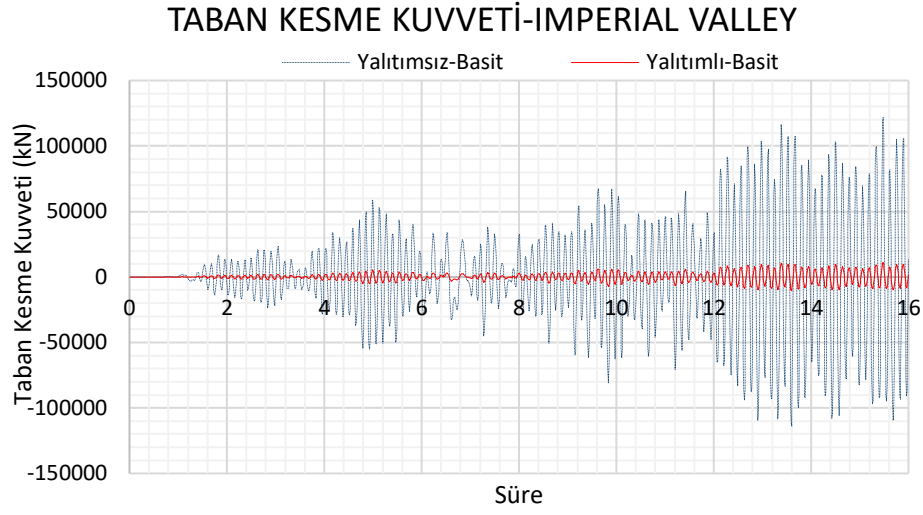
**Şekil 14.** Zaman tanım alanında ölçeklenmiş Imperial Valley kaydı altındaki taban kesme kuvveti geçmişi.



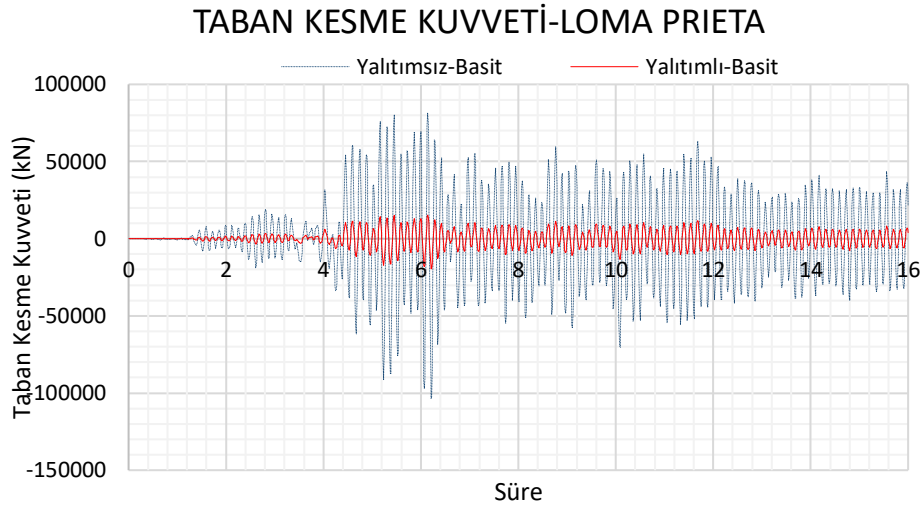
**Şekil 15.** Zaman tanım alanında ölçeklenmiş Loma Prieta kaydı altındaki taban kesme kuvveti geçmişi.



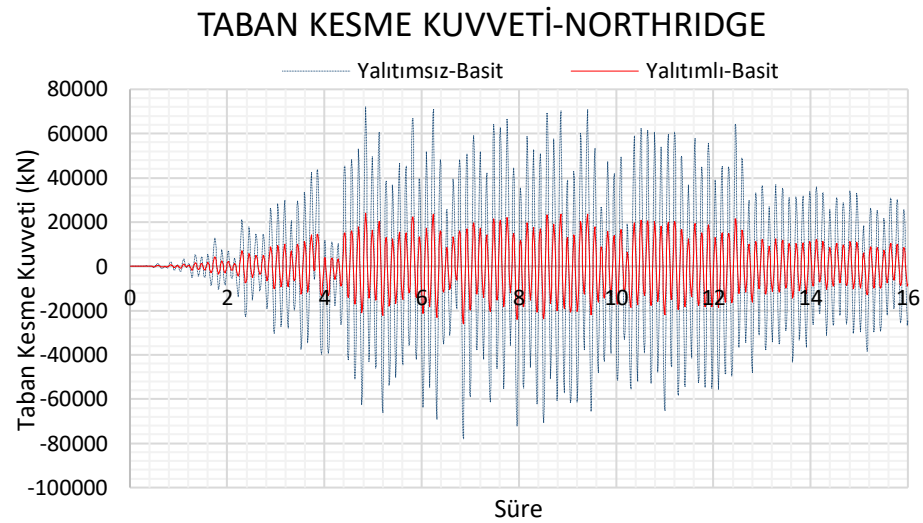
**Şekil 16.** Zaman tanım alanında ölçeklenmiş Northridge kaydı altındaki taban kesme kuvveti geçmişi.



**Şekil 17.** Frekans tanım alanında ölçeklenmiş Imperial Valley kaydı altındaki taban kesme kuvveti geçmişi.

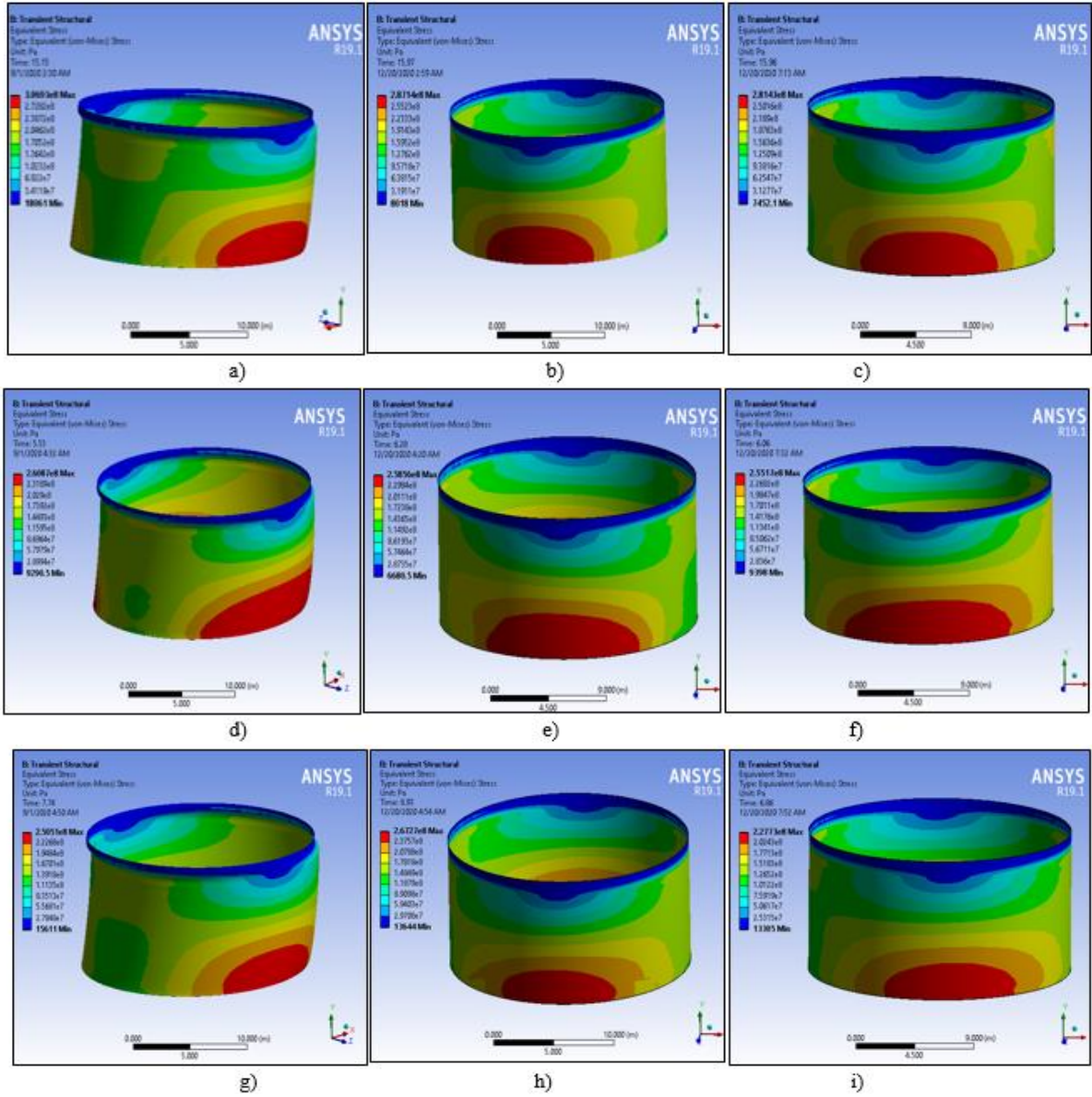


**Şekil 18.** Frekans tanım alanında ölçeklenmiş Loma Prieta kaydı altındaki taban kesme kuvveti geçmişi.



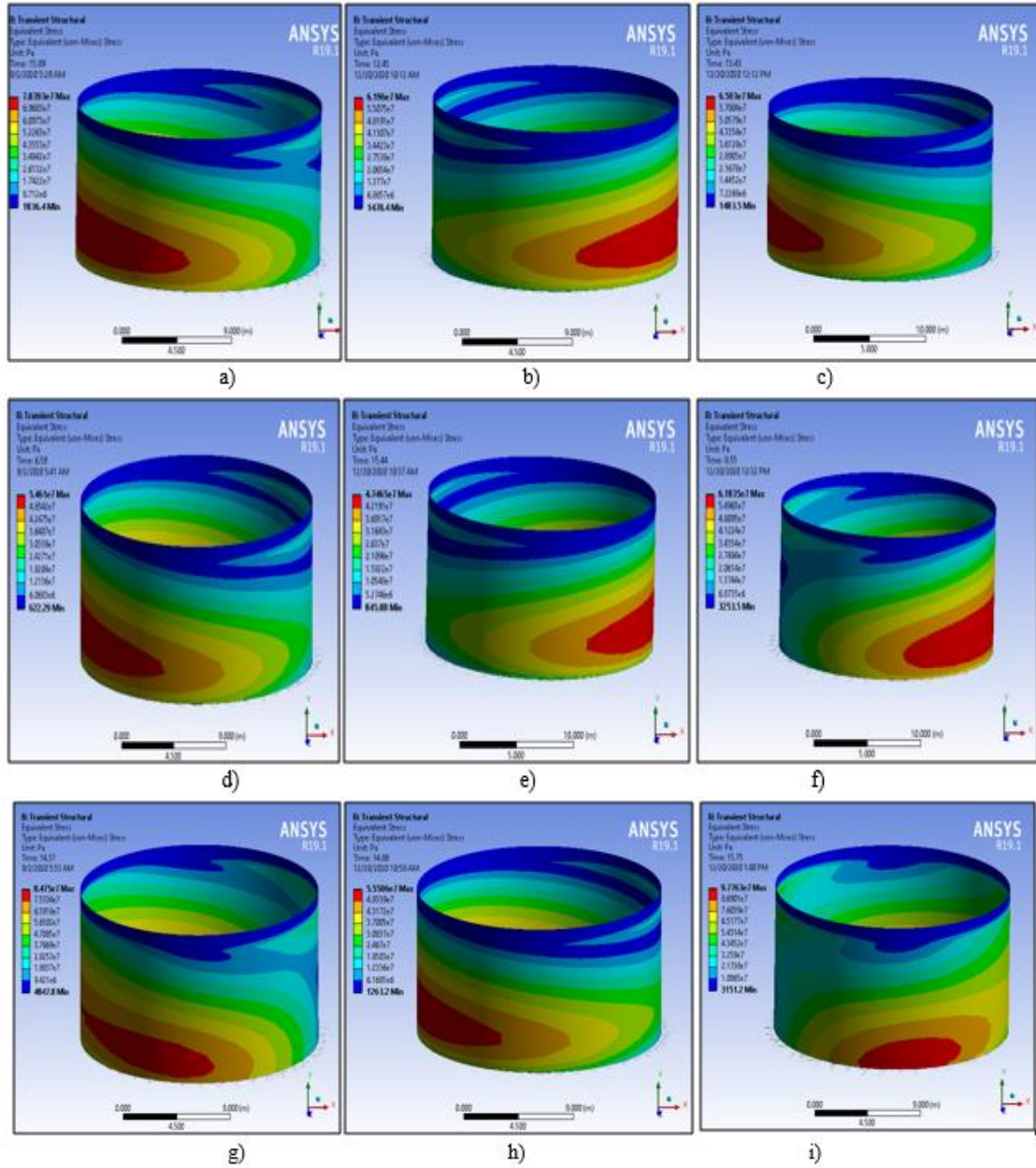
**Şekil 19.** Frekans tanım alanında ölçeklenmiş Northridge kaydı altındaki taban kesme kuvveti geçmişi.





**Şekil 20.** (a)Yalıtımsız tankın Von Mises gerilme sonuçları Imperial Valley (zaman), (b)Imperial Valley (frekans), (c)Imperial Valley (basit), (d)Loma-Prieta (zaman), (e)Loma-Prieta (frekans), (f)Loma-Prieta (basit), (g)Northridge (zaman), (h)Northridge (frekans), (i)Northridge (basit).

Üç farklı yöntemle ölçeklendirilmiş tüm yer hareketi kayıtları için Şekil 20'de yalıtımsız tankların, Şekil 21'de yalıtımlı tankların duvarlarında oluşan Von Mises gerilme sonuçları sunulmaktadır. Yalıtımlı tank duvarlarında gerilmede büyük bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Yalıtımsız tanklarda ise, tank duvarı hidrodinamik gerilmeleri bazen çelik malzeme S275JR'nin akma gerilmesi limitlerini aşmıştır. Bu durum tank duvarının alt kısmına yakın yerlerde fil ayağı burkulmasına neden olabilir. Taban yalıtımı kullanılmasıyla bu elasto-plastik burkulmanın önüne geçilebilir. Maksimum Von-Mises gerilmeleri ve maksimum çalkalanma dalgası yükseklikleri Tablo 7'de gösterilmiştir. Yalıtım birimleri yer değiştirmelerinde ve taban kesme kuvveti sonuçlarında önemli bir fark olmasına rağmen, tüm ölçekleme yöntemleri için hidrodinamik gerilmeler (Von Mises) ve maksimum çalkalanma dalgası yükseklikleri birbirine oldukça yakındır.



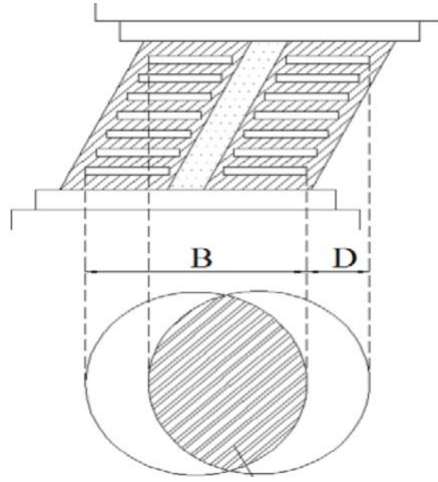
**Şekil 21.** (a)Yalıtımlı tankın Von Mises gerilme sonuçları Imperial Valley (zaman), (b)Imperial Valley (frekans), (c)Imperial Valley (basit), (d)Loma-Prieta (zaman), (e)Loma-Prieta (frekans), (f)Loma-Prieta (basit), (g)Northridge (zaman), (h)Northridge (frekans), (i)Northridge (basit).

**Tablo 7.** Maksimum çalkalanma dalgası yükseklikleri ve Von Mises gerilmeleri.

Ölçekle me Metodu	Tank	Çalkalanma Dalgası (mm) (Loma Prieta)	Maks. Von Mises Gerilmesi (MPa) (Loma Prieta)	Çalkalanma Dalgası (mm) (Northridge)	Maks. Von Mises Gerilmesi (MPa) (North ridge)	Çalkalanma Dalgası (mm) (Imperial Valley)	Maks. Von Mises Gerilmesi (MPa) (Imperial Valley)
Basit	Yalıtımsız	1443	255	1066	228	1567	281
Basit	Yalıtımlı	1448	62	1096	98	1687	65
Zaman	Yalıtımsız	1767	261	1158	251	1478	307
Zaman	Yalıtımlı	1792	55	1186	85	1518	78
Frekans	Yalıtımsız	1495	259	1158	267	1477	287
Frekans	Yalıtımlı	1488	47	1398	56	1576	62

### 3.3. Yalıtım Birimlerinin 3 DYH Etkisinde Düşey Yükler Altında Değerlendirilmesi

Yalıtım birimlerinde oluşan çekme ve basınç kuvvetleri taban yalıtımı tasarımı açısından çok önemlidir. Çekme durumunda elastomer yalıtım birimlerinde kavite oluşmakta, basınç durumunda ise şekil 22’de gösterilen Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nden (TBDY, 2018) alınmış iz düşüm alanının hesabı önemli olacaktır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde (TBDY, 2018) kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için düşey rijitlik çekme ile basınçta aynı ve doğrusal olarak tanımlanmıştır. Bu elde edilen çekme kuvvetlerinin daha büyük olmasına sebep olmaktadır. ANSYS (ANSYS, 2018) modelinde yalıtım birimleri için herhangi bir alan azaltması yapılmayıp, yalıtım birimi çekme ve basınç taşıyabilecek maksimum kapasite belirlenirken iz düşüm hesaplarında yönetmelik yaklaşımı esas alınmıştır.



Şekil 22. Yalıtım birimi iz düşüm alanı (TBDY, 2018).

Düşey rijitlik yalıtım birimlerinde çekme kuvvetiyle oluşan kavite sonrası doğrusal olmayan bir davranış göstermekte ve düşmektedir, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde (TBDY, 2018) kurşun çekirdekli elastomer yalıtım birimleri için basınç ve çekmede farklı düşey rijitlik hesapları önerilmesi bu bakımdan faydalı olacaktır. Ayrıca Tablo 8’de yalıtım sisteminde oluşan en büyük çekme ve basınç kuvvetleri sonuçları verilmiştir. Bu sonuçlara göre tüm yalıtım birimlerinde kavite sınırını aşacak çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Bu durum taban plakasındaki hidrodinamik kuvvetlerin oluşturacağı ek devrilme momentlerinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 8. Yalıtım sisteminde oluşan en büyük çekme ve basınç kuvvetleri sonuçları.

Ölçeleme Metodu	Maks.Basınç Kuvveti (kN) (LomaPrieta)	Maks. Çekme Kuvveti (kN) (Loma Prieta)	Maks.Basınç Kuvveti(kN) (Northridge)	Maks.Çekme Kuvveti(kN) (Northridge)	Maks.Basınç Kuvveti(kN) (Imp.Valley)	Maks.Çekme Kuvveti(kN) (Imp.Valley)
Basit	1443	255	1066	228	1567	281
Zaman	1792	233	1186	496	1518	536
Frekans	1488	47	1398	56	1576	62





#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, basit ölçeklendirme yöntemi gereksinimleri için taban yalıtımlı tankların periyot aralıkları, mevcut kodlarda çok ayrıntılı olarak belirtilmelidir. Taban yalıtımlı tanklar için yer hareketi ölçeklendirme yöntemleri, tank davranışının bağlı olduğu, boy/çap oranı, narinlik (yarıçap/duvar kalınlığı) aralığı, değişik çatı tipleri ve ankrajlı / ankrajsız olma durumları gözetilerek çalışılmalıdır. Çalışmadan elde edilen çıkarımlar aşağıda özetlenmiştir:

- Spektrum eşleşmesi tam sağlanamadığı için yalıtım sistemlerinin basit ölçeklenen kayıtlarda maksimum yer değiştirmesi yüksektir. Frekans tanım alanında ise, maksimum ve ortalama yer değiştirmeler diğer yöntemlere göre düşüktür; sonuçlar hedef yer değiştirmeye oldukça yakındır.
- Spektrum eşleştirme ölçekleme yöntemiyle elde edilen kayıtlar, basit yöntemle elde edilen kayıtlardan ziyade tasarım spektrumu ile daha iyi uyum göstermektedir.
- Özdemir ve Fahjan, frekans alanı ölçekleme işlemi sırasında frekans içeriği değişikçe kayıtların doğal özelliklerini kaybedebileceğini ve eşit yer değiştirme kuralına uymadığı belirtmiştir (Özdemir ve Fahjan, 2007). Doğrusal olmayan analiz için frekans alanında eşleşen spektrum kullanılmaması önerilmiştir. Yalıtım sistemleri yer değiştirme konusuna duyarlıdır. Bu nedenle, özellikle taban yalıtımlı tankların analizi için zaman tanım alanında spektrumlu uyumlu hale getirerek ölçekleme yöntemi önerilmektedir.
- Sonuçlarda, yalıtım sistemlerinin yer değiştirmelerinin, ön tasarımda hesaplanan değerlerden büyük olduğu gözlemlenmiştir.
- Sismik yalıtım, tankların darbesel modlarına yalıtım sistemi etki ederken, devinimsel modlarına etki etmemektedir. Bu sebeple hedeflenen taban kesme kuvvetinden daha büyük bir taban kesme kuvveti görünmesi yanında, daha büyük bir yer değiştirme de gözlemlenmektedir. Yalıtım sistemli tankların hedef yer değiştirme hesaplarının deprem yönetmeliklerinden elde edilen sonuçlarla uyumlu olmadığını görülmektedir.
- Kılıç ve arkadaşları (Kılıç ve ark., 2022; Kılıç, 2022; Kılıç ve ark., 2021) tarafından daha geniş en/boy oranları olan tanklarda yapılan çalışmalarda, sismik yalıtımın geniş tanklarda etkisini kaybettiği, taban kesme kuvvetiyle yalıtım sistemi yer değiştirmesindeki etkisinin azaldığı sunulmuştur.
- Kullanılan kurşun çekirdekli elastomer yalıtım sistemlerinde düşey deplasman durumunda kavite oluşmakta, sürtünmeli sarkaç tipi yalıtım sistemlerinde ise düşey yükler yenilirse yapıların stabilitesi çok kolay bozulabilmektedir. Bu sebeple yalıtım birimlerinde meydana gelecek çekme kuvvetleri çok önemli olmaktadır. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) elastomer yalıtım birimleri için çekme ve basınç altında aynı rijitlik olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle çekme kuvvetleri daha büyük olmaktadır.

- Düşey rijitlik yalıtım birimlerinde kavitasyon sonrası doğrusal olmayan bir davranış göstermekte ve düşmektedir, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) KÇE yalıtım birimleri için basınç ve çekmede farklı düşey rijitlik hesapları önerilmesi yararlı olabilecektir.
- Ayrıca çalışmada elde edilen yanal deplasmanlar, ön tasarımdan daha büyük olduğu için yer değiştirme yapmış KÇE izdüşüm alanı hesabında, deprem yönetmeliği birim sistemi gözden geçirilmelidir (TBDY, 2018).
- Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği'nde (TBHSSDDTY, 2021) sismik yalıtımın düşük frekanslı çalkalanma hareketlerine, yüksek frekanslı tank titreşimlerine etkisinden ve yakın saha etkilerinden bahsedilmesi ve örnekler verilmesi faydalı olacaktır.
- Amerikan Petrol Enstitüsü yönetmeliğinde (API 650, 2020) sahaya özel deprem yer hareketi spektrumları bilinen bir faya 10 km mesafeden daha kısa durumlar için zorunludur. Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği'nde (TBHSSDDTY, 2021) bu durum, 25 km mesafeden daha kısa durumlar için zorunludur.
- İki yönetmelikte zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için 11 ve 7 olmak üzere iki farklı deprem kaydı seçme zorunluluğu tanımlanmıştır (TBDY, 2018; TBHSSDDTY, 2021). Uluslararası yönetmeliklerde ise 3 adet kayıt yeterli olduğu ifade edilmektedir (ASCE7, 2016; Eurocode8, 2003). Kayıt sayısının çok olması daha doğru bir yaklaşım olsa bile, yapıya uygun kayıt bulma zorluğu, yapı-sıvı etkileşimli analizlerin boyut ve süreleri düşünüldüğünde 3 kayıt kullanılmasının makul olduğu değerlendirilmektedir (Kılıç, 2015; Kılıç, 2023). Çalışma kapsamında üç kayıt kullanılmıştır.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- ANSYS. (2018). Workbench user's guide. ANSYS Inc. Southpointe, 275, Technology Drive, Canonsburg, PA 15317.
- API650. (2020). "Standard Welded Tanks for Oil Storage Appendix-E-Seismic Design of Storage Tanks", American Petroleum Institute.
- ASCE7. (2016). "Minimum design loads for buildings and other structures", ASCE/SEI 7-16. Reston, VA.", American Society of Civil Engineers.
- Aslam, M. (1981). Finite Element Analysis of Earthquake-Induced Sloshing in Axisymmetric Tanks. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 17, 159-170.
- Aydın, A. C., Bilen, M. B., and Maali, M. (2022). Effect of Hydrochloric Acid Corrosion and CFRP Coating on the Buckling Behavior of Cylindrical Shells under External Pressure. *Scientia Iranica*, 29 (6), 2886-2901. doi: 10.24200/sci.2021.57618.5332
- Çelebi, O., Özer, Ç., Bayrak, B., Kılıç, M., and Aydın, A. C. (2023). Earthquake Response of Historical Church within the Perspective of Structural Dynamics: Oltu Russian Church. *Journal of Building Engineering*, vol.74, 1-40. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106884>
- Çelik, A. İ., Köse, M. M., Akgül, T., and Alpay, A. C. (2018). Directional-Deformation Analysis of Cylindrical Steel Water Tanks Subjected to El-Centro Earthquake Loading. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 36 (4), 1033-1046.
- Chen, Y., and Xue, M., (2018). Numerical Simulation of Liquid Sloshing with Different Filling Levels Using OpenFOAM and Experimental Validation. *Water*, 10 (12), 1752. doi:10.3390/w10121752
- Dinçer, E. A., (2019). Investigation of the Sloshing Behaviour Due to Seismic Excitations Considering Two-Way Coupling of the Fluid and the Structure. *Water*, 11 (12), 2664. doi:10.3390/w11122664
- Eurocode8. (2003). "Design of structures for earthquake resistance Part 4: Silos, tanks and pipelines", European Committee for Standardization.
- Gökçe, T., Orakdöğen, E., and Yüksel, E. (2021). Improvement of the Polyurethane Spring Isolation Device for HV Post Insulators and Its Evaluation by Fragility Curves. *Earthquake Spectra*, 2021, 1-21. doi: 10.1177/8755293020981967
- Guler, E., and Alhan, C. (2019). Effectiveness of non-linear fluid viscous dampers in seismically isolated buildings. *Earthquakes and Structures*, 17(2), 191–204. <https://doi.org/10.12989/EAS.2019.17.2.191>
- Guler, E., and Alhan, C. (2021). Performance Limits of Base-Isolated Liquid Storage Tanks with/without Supplemental Dampers Under Near-fault Earthquakes. *Structures*, 33 (2021), 355–367. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2021.04.023>
- Guler, E., and Alhan, C. (2024). Behavior of Base-Isolated Liquid Storage Tanks with Viscous Dampers under Historical Earthquakes Considering Superstructure Flexibility. *Turkish Journal of Civil Engineering*, 35(1), 109-138. <https://doi.org/10.18400/tjce.1380129>
- Kanyılmaz, A., and Castiglioni, C. A. (2017). Reducing the Seismic Vulnerability of Existing Elevated Silos by Means of Base Isolation Devices. *Engineering Structures*, 143, 477–497.
- Kılıç, M., (2021). Buckling Behavior of Nose Cone Type Steel Tanks Including Horizontal Imperfection. *International Journal of Steel Structures*, 21 (4), 1408-1419. <https://doi.org/10.1007/s13296-021-00512-y>
- Kılıç, S., (2015). *The Investigation of the 25 Percent Rule in Concentrically Brace Frame Dual System with Special Moment Frame*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kılıç, S., (2022). *Endüstriyel Yapılarda Yatay Geniş Tanklar ile Dikey Narin Siloların Deprem Esnasındaki Davranışlarının ve Farklı İzolatör Tipleriyle Güçlendirilmesinin İrdelenmesi*. Doktora Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Kılıç, S., Akbaş, B., and Zülfikar, A. C., (2021, October). The evaluation of Seismic Behavior of Broad Tanks Subject to Strong Ground Motions Scaled with Different Approaches: *6th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. Gebze, Gebze Technical University.
- Kılıç, S., Akbaş, B., Paolacci, F., and Shen, J., (2022). Seismic Behavior of Liquid Storage Tanks with 2D and 3D Base Isolation Systems. *Structural Engineering and Mechanics*, 83 (5), 627-644. doi:10.12989/sem.2022.83.5.627
- Kılıç, S., Akbaş, B., Uçkan, E., ve Çakır, F., (2021, Haziran). Endüstriyel Yapılarda Yatay Geniş Tanklar ile Dikey Narin Tankların Deprem Esnasındaki Davranışlarının ve Farklı Sismik Yalıtım Sistemleriyle Tasarımlarının İrdelenmesi. *9. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul: Türkiye.

- Kılıç, S., Akbaş, B., Uçkan, E., ve Çakır, F., (2022). Endüstriyel Yapılarda Yatay Geniş Tanklar ile Dikey Narin Tankların Deprem Esnasındaki Davranışlarının ve Farklı Sismik Yalıtım Sistemleriyle Tasarımlarının İrdelenmesi. *İMO İstanbul Bülten*, Sayı 172(2022), 4-11.
- Kılıç, S. (2023, May). The Seismic Assessment of Post-tensioned Reinforced Concrete Silo. *Academy 1st International Conference on Earthquake Studies*. İstanbul: Türkiye.
- Kılıç, S. (2023, Mayıs). Merkezi Çaprazlı ve Moment Aktaran Çerçeveveli Karma Sistemlerde %25 Kuralının İncelenmesi. *Academy 1st International Conference on Earthquake Studies*. İstanbul: Türkiye.
- Maali, M., Kılıç, M., Yaman, Z., Ağcakoca, E., and Aydın, A. C. (2019). Buckling and Post-buckling Behavior of Various Dented Cylindrical Shells Using CFRP Strips Subjected to Uniform External Pressure: Comparison of Theoretical and Experimental Data. *Thin-Walled Structures*, 137 (2019), 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.12.042>
- Maali, M., Aydın, A. C., Showkati, H., Fatemi, S. M., and Sagiroglu, M. (2018). Longitudinal Imperfections on Thin-Walled Cylindrical Shells. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 2018, 8:2, 1-10. doi: 10.4172/2165-784X.1000309
- Moslemi, M., and Kianoush, M. R. (2016). Application of seismic isolation technique to partially filled conical elevated tanks. *Engineering Structures*, 127, 663-675.
- NZSEE. (2009). “Seismic Design of Storage Tanks Recommendations of a NZSEE Study Group on Seismic Design of Storage Tanks”, New Zealand Society for Earthquake Engineering.
- Özdemir, Z., (2010). *Nonlinear Fluid-Structure Interaction for Multi-Dimensional Seismic Analysis of Liquid Storage Tanks*. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, Z., Souli, M., and Fahjan, Y. (2010). Application of nonlinear fluid structure interaction methods to seismic analysis of anchored and unanchored tanks. *Engineering Structures*, 32, 409-423.
- Özdemir, Z., ve Fahjan, Y., (2007, Ekim). Gerçek Deprem Kayıtlarının Tasarım Spektrumlarına Uygun Olarak Zaman ve Frekans Tanım Alanlarında Ölçekleme Yöntemlerinin Karşılaştırılması. 6. *Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*. İstanbul: Türkiye.
- Öztürk, O., Yenidünya, E., and Keskin, Ü. S. (2021). Effect of Curing Regimes on the Mechanical and Fresh Properties of Steel Fiber-Reinforced Concrete. *Architecture, Civil Engineering, Environment*, 14-1, 69-81. doi:10.21307/ACEE-2021-007
- Pal, N. C., Bhattacharyya, S. K., and Sinha, P. K. (2003). Non-linear Coupled Slosh Dynamics of Liquid-filled Laminated Composite Containers: A Two-Dimensional Finite Element Approach. *Journal of Sound and Vibration*, 261 (4), 729-749.
- Paolacci, F., (2015). On the effectiveness of two isolation systems for the seismic protection of elevated tanks. *Journal of Pressure Vessels and Technology*, 137 (3), 031801. doi:10.1115/1.4029590
- Sagiroglu, M., Maali, M., and Aydın, A. C. (2018). Installation and Maintenance Principles of Seismic Isolators: Erzurum Health Campus. *The Open Civil Engineering Journal*, 2018, 12, 83-95. doi: 10.2174/1874149501812010083
- SeismoMatch. SeismoSoft Inc, version 2020 [software]. Downloaded from Online Web site: <http://seismosoft.com/products/download/>
- SeismoSignal. SeismoSoft Inc, version 2020 [software]. Downloaded from Online Web site: <http://seismosoft.com/products/download/>
- Shekari, M. R., Khaji, N., and Ahmadi, M. T. (2009). A coupled BE-FE study for evaluation of seismically isolated cylindrical liquid storage tanks considering fluid-structure interaction. *Journal of Fluids and Structures*, 25, 567-585.
- Spritzer, J. M., and Güzey, S. (2017). Review of API 650 Annex E: Design of large steel welded aboveground storage tanks excited by seismic loads. *Thin-Walled Structures*, 112, 41-65.
- TBDY. (2018). “Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği”, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- TBHSSDTDY. (2021). “Türkiye Boru Hattı Sistemleri ve Sıvı Depolama Tankları Deprem Yönetmeliği” T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara.
- URL-1: <http://www.geogebra.org/classic/hk6txsdj>, (Erişim Tarihi: 31 Temmuz 2020).
- URL-2: <http://ngawest2.berkeley.edu>, (Erişim Tarihi: 21 Aralık 2019).
- URL-3: <http://deprem.afad.gov.tr/deprem-tehlike-haritasi>, (Erişim Tarihi: 14 Haziran 2020).

## Üre-Formaldehit Reçinesi Katı Atıklarının Tarımsal Gübre Olarak Kullanımı

Hasan ERYILMAZ<sup>1</sup> , Kazım Onur DEMİRARSLAN<sup>2\*</sup> , Recep AYKAN<sup>3</sup> 

### Öz

Bu araştırmada temel amaç; orman ürünleri sanayinde çıkan üre-formaldehit reçineleri (UFR) atıklarının, çevre dostu sayılabilecek “iyi tarım” uygulamalarında gübre olarak, nasıl yeniden kullanılabileceğini incelemektir. Yani esas hedef, UFR atıklarının tarımsal faaliyetlerde kullanılmasının, bitki büyümesi üzerindeki etkilerini değerlendirmek ve bu atıkların çevresel sürdürülebilirlik açısından potansiyelini ortaya koymaktır. Çalışma, UFR atıklarının tarım sektöründe verimli bir şekilde kullanıldığında olumlu etkiler sağladığını göstermektedir. Bu atıkların toprak verimliliğini artırdığı, bitki büyümesini teşvik ettiği ve topraktaki besin maddelerinin daha etkili bir şekilde kullanılmasına olanak tanıdığı belirlenmiştir. Ayrıca, UFR atıklarının çevre dostu bir gübre kaynağı olarak kullanılması, atık yönetimi ve tarım uygulamaları arasındaki çevresel ve ekonomik bağlantıyı güçlendirecektir. Bu çalışmada, UFR atıklarının tarımsal gübre olarak kullanılmasının sürdürülebilir bir strateji olabileceği ve bu yaklaşımın çevresel faydalarının yanı sıra tarım sektöründeki ekonomik etkilerini de iyileştirebileceği ortaya konulmuştur. Bu bağlamda; UFR atıkları dâhil tüm atıkların verimli bir şekilde değerlendirilmesi, çevre dostu olabilecek “iyi tarım” uygulamalarının teşvik edilmesi ve tarımın sürdürülebilirliğine katkıda bulunulması, önemli bir araştırma önerisidir.

**Anahtar Kelimeler:** UFR Atıkları, tarımsal gübre, sürdürülebilirlik, bitki gelişmesi, çevresel faydalar

## Use of Urea-Formaldehyde Resin Solid Wastes as Agricultural Fertilizer

### Abstract

The main purpose in this research is, to examine the potential utilization of urea-formaldehyde resin (UFR) wastes, produced in the forest products industry, as a sustainable fertilizer in eco-friendly “good agricultural” practices. The primary aim of this study is, to evaluate the effects of using UFR wastes in agricultural activities on plant growth and to reveal the potential of these wastes in terms of environmental sustainability. The study shows that UFR waste provides positive effects when used efficiently in the agricultural sector. It has been determined that these waste materials enhance soil fertility, facilitate plant growth, and improve the efficient utilization of nutrients within the soil. Additionally, using UFR wastes as an environmentally friendly fertilizer source will strengthen the environmental and economic link between waste management and agricultural practices. This study reveals that the use of UFR waste as agricultural fertilizer can be a sustainable strategy and that this approach can improve its economic impacts in the agricultural sector as well as its environmental benefits. In this particular context; efficient utilization of all wastes including UFR wastes, encouraging environmentally friendly “good agriculture” practices and contributing to the sustainability of agriculture is an important research proposal.

**Keywords:** UFR Wastes, agricultural fertilizer, sustainability, plant growth, environmental benefits.

<sup>1,2</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Artvin, Türkiye, [h.eryilmaz@artvin.edu.tr](mailto:h.eryilmaz@artvin.edu.tr)  
[onurdemirarslan@artvin.edu.tr](mailto:onurdemirarslan@artvin.edu.tr)

<sup>3</sup>Sinop Üniversitesi, Ormancılık Bölümü, Orman Ürünleri Programı, Ayancık Meslek Yüksekokulu, Sinop, Türkiye,  
[raykan@sinop.edu.tr](mailto:raykan@sinop.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

**Geliş/Received:** 23.11.2023

**Kabul/Accepted:** 14.06.2024

**Yayın/Published:** 18.06.2024

## 1. Giriş

Üre-formaldehit reçineleri (UFR) genellikle, sıvılaştırılmış formları ahşap ve ahşap bazlı kompozit ürünlerin yapıştırılmasında toz formları ise, anahtar-priz gövdeleri, klozet kapakları gibi çeşitli materyallerin imalatında yaygın olarak kullanılan çok önemli bir malzemedir. Bu reçineler, üre ve formaldehitin kopolimerizasyonu yoluyla elde edilen termoset polimerlerdir ve genellikle ahşap, tekstil, kağıt, ve boya endüstrilerinde bağlayıcı olarak kullanılırlar (Yüce ve ark., 2020; Osemeahon ve Barminas, 2007).

UFR'lerin sentezi, formaldehitin alkali bir ortamda üre ile reaksiyona girmesiyle başlayan ayrıntılı bir süreçtir ve iki aşamalı bir reaksiyon içermektedir. İlk aşama, metilolasyon olarak adlandırılır ve bu aşamada üre moleküllerine formaldehit eklenir, metilol grupları oluşur ve F/U mol oranına bağlı olarak, metilol türlerin oranları da değişir. UF polimeri, ikinci aşama olan asit kondensasyon aşamasında oluşur. Bu aşamada, ara ürün olan metiloller, hala sistemde mevcut üre ve formaldehit ile lineer ve kısmen dallanmış moleküller oluşturmak için reaksiyona girmektedir. Üre molekülleri, metilen eter köprüleri (-CH<sub>2</sub>-O-CH<sub>2</sub>-) ve metilen köprüleri (-CH<sub>2</sub>-) ile bağlanmaktadır (Zorba ve ark., 2008). Bu reaksiyon, metilen ve aminometilen köprülerinin oluşumuna yol açar ve formaldehit ile üre polikondensatlarını oluşturan temel yapıyı, yani metilen ve amino gruplarını içerir. (Dunky, 1998). UF reçineleri, özellikle ahşap esaslı panellerin imalatında önemli bir rol oynayan termoset yapıştırıcı bir reçine çeşididir. UFR sentezi, düşük maliyetli bir ürün elde etmesiyle dikkat çeker. Bu sentez süreci, üre ve formaldehitin aşamalı olarak eklenmesini ve ardışık kondensasyon reaksiyonlarını içerir. Ancak UFR'lerin üretim ve kullanım süreçlerinde kaçınılmaz bir şekilde formaldehit salınımı da oluşur (Akinterinwa ve ark., 2020). UFR'lerin üretimindeki önemli teknik ve ekonomik özellikler, endüstriyel uygulamalarda bu reçinelerin yaygın olarak tercih edilmesine katkı sağlar.

UFR yüksek mukavemet, sertlik, maliyet etkinliği ve hızlı kurlenme özellikleri ile dikkat çekmektedir. Ahşap ürünleri endüstrisi tarafından özellikle tercih edilen bu reçineler, yüksek sıcaklıklarda son derece hızlı bir şekilde kurlenme yeteneği ile öne çıkarlar. Özellikle yonga levha ve lif levha üretiminde kullanılan UF reçineleri, bu endüstrinin temel bileşenlerindedir (Ohalet ve Popoola, 2019; Dorieh ve ark., 2018; Saito ve ark., 2021).

UFR'ler ahşap ve ahşap bazlı ürünlerin yapıştırılmasında geniş bir uygulama alanına sahip önemli bir malzemedir. UFR'lerin tercih edilme sebepleri, düşük maliyet, yüksek performans, kolay kullanım ve uzun raf ömrü gibi avantajlarıdır (Tohmura ve ark., 2000).

En dikkat çeken avantajlarından biri, düşük maliyetleri olup, diğer ahşap yapıştırıcılarına göre daha ekonomik bir seçenek sunmalarıdır. Ayrıca ahşap malzemelerin yapıştırılmasında yüksek performans sağlamaları, bu reçinelerin tercih edilmesine neden olan önemli bir özelliktir. Kolay

kullanımları ve geniş bir uygulama yelpazesi sunmaları, endüstriyel kullanımlarını daha da cazip hale getirirken, uzun raf ömürleri, stoklama açısından büyük avantajlar sunar (Tohmura ve ark., 2000).

Ancak UFR'lerin kullanımında dikkate alınması gereken önemli dezavantajlar da bulunmaktadır. Bu reçineler, formaldehit emisyonu nedeniyle çevresel endişelere yol açabilirler. Formaldehit, insan sağlığı ve çevre için potansiyel bir risk oluşturur. Solunum yoluyla alındığında sağlık sorunlarına yol açabilir ve uzun süre maruz kalındığında kanser riski artabilir (Song ve ark., 2021).

Son yıllarda, kontrollü veya yavaş salımlı gübrelerin gelişimi hızla ilerlemiş ve gübre araştırmalarının odağına yerleşmiştir. Topraktaki bu yavaş salımlı gübrelerin etkisi, bitki emilimi ve kullanımı için kritik olan amonyumun ve karbondioksitin mikrobiyal hidroliz yoluyla serbest bırakılmasından kaynaklanmaktadır. Bu süreç sonucunda, gübre yavaş yavaş tamamen kullanılır ve çevresel olarak daha sürdürülebilir bir yaklaşım sunar. Bu nedenle, yavaş salımlı gübrelerin kullanımı, çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkar ve bu tür gübrelerin benzersiz avantajlar sunmasına yol açar. Bu bağlamda, UFR, dünya genelinde en yaygın kullanılan yavaş salımlı gübrelerden biri olarak öne çıkmaktadır. UFR, üre ve formaldehit arasındaki reaksiyondan elde edilen uzun zincirli ve organik azotlu bir polimerdir; toprakta mikroorganizmalar tarafından yavaşça parçalanabilir ve bu da besin olan amonyak azotunun toprağa yavaşça salınmasına ve kaybolmadan bitki tarafından alınmasına neden olur. UFR'nin yavaş salınım özelliği, kristalliğinin azaltılmasıyla daha da geliştirilebilir, çünkü su ve mikroorganizmalar UFR'deki amorf bölgelere daha kolay nüfuz eder (Yang ve ark. 2018).

UFR gübrelerinin, dikkate değer fiziksel özelliklere ve yavaş besin maddesi salınım oranlarına sahip oluşu, toprak yapısında çok küçük mineraller için kısmi topaklanma meydana getirerek suyla akıp gitmesini azaltabilir, toprak geçirgenliğini artırabilir ve bitki köklerinin daha derinlere nüfuz etme yeteneğini artırabilir. Ayrıca, hızlı ve uzun süreli işleyişleri sayesinde azot kullanım verimliliği %50'yi aşabilmektedir (Guo ve ark. 2018).

Bu çalışmada, endüstriyel süreçlerin bir yan ürünü olarak ortaya çıkan UFR atıklarının çevresel ve tarımsal potansiyeli incelenmiş, tarımsal uygulamalarda yavaş salımlı azot gübresi olarak kullanılabileceği, tohum dikiminden 134 gün yani 4,5 ay sonra bile etkisinin sürmesiyle anlaşılmıştır. Çalışmada, plastik sanayisinden kaynaklanan UFR atıkları üzerine odaklanılmıştır. Bu atıkların, tarım alanında kullanılabilmesi için özel bir işleme gerek kalmadan, toprakla karıştırılarak uygun hale getirilebileceği değerlendirilmektedir. Eryılmaz ve Demirarslan (2022) tarafından daha önce çevre kirliliğine uyum amacıyla gerçekleştirilen benzer bir çalışmada; PET, PVC, UFR gibi plastik atıklarla karışık topraklarda bitki yetiştirme denemeleri yapılmış ve PVC hariç diğer atıkların tarım verimliliği üzerinde olumlu sonuçlar doğurduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada ise, yalnızca UFR atıklarının

kullanıldığı saksı denemeleri gerçekleştirilerek, farklı atık yüzdesinin bitki büyümesi üzerindeki etkileri daha geniş bir aralıkta araştırılmaktadır.

Araştırma, atık yönetimi ve tarım uygulamaları arasındaki çevresel ve ekonomik bağlantıyı vurgulamakta ve potansiyel bir sürdürülebilirlik stratejisi sunmaktadır. Çalışmanın sonuçları, UFR atıklarının tarım sektöründe verimli bir şekilde kullanılmasının çevresel faydalarını ve tarımsal potansiyelini göstermektedir.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada bitki materyali olarak, Artvin-Seyitler köyü çiftçileri tarafından yetiştirilen acı kırmızıbiber (*Capsicum annuum*) kullanılmıştır. Bitki materyali, üreticiden temin edilmiş olup, temiz, sağlıklı ve olgun biberlerden elde edilen tohumlar kullanılmıştır. Tüm deneme serilerinde, biber tohumları, birbirine yakın büyüklükte olanlar arasından seçilerek ekilmiştir. Toprak materyali, yerel bir tarım arazisinden alınmış ve daha homojen bir yapı elde etmek için iyice karıştırılmıştır. Saksılar birbirinin aynısı olan ve piyasada bulunan 1,5 kg 'lık yoğurt kaplarıdır. Dikim sonrası bitkiler, aynı çevresel koşullarda sulanmış (üst yüzey kurudukça, aynı zamanda, hepsine birer fincan su), güneşlenmiş, zamanla gelişim aşamaları uygun bir şekilde belgelenmiştir. Bu çalışmada kullanılan UFR atıkları, "Körfez Kimya, DERİNCE – KOCAELİ/TURKİYE" şirketi malı toz UFR'den, Çanakcılar Şirketler Grubu'nca klozet kapağı imalatında çıkan pres çapaklarıdır.

UFR atıkları, saksı denemeleri öncesinde, UFR'nin geri kazanılması amacıyla kapalı-basınçlı ve sıcak sulu bir ortamda hidrolize tabi tutulmuştur. Ardından, hidroliz ürünlerinin tekrar polimerleşmesi ve ısıtılarak buharlaştırılması için denemeler gerçekleştirilmiştir. Ancak bu işlemlerin sonucunda orijinal UFR'nin sertliğine ulaşamamış olmasının çeşitli nedenleri olabilir. Örneğin hidroliz işlemi, UFR monomeri olan üreden çok öteye giderek ürenin parçalanma ürünü olan amonyağa kadar gitmiş olabilir (açığa çıkan amonyak kokusunun gösterdiği gibi) (Liu ve ark. 2018). Bir diğer ihtimal ise hidroliz ürünlerinin tekrar polimerleşme denemelerinin basınçsız ortamda yapılması nedeniyle gaz olan amonyak, karbondioksit veya formaldehidin havaya uçmasından kaynaklanabilir (Lubis ve ark. 2017). Bu nedenle, UFR geri kazanmak yerine, sıvı hidroliz ürünlerinin direk olarak N gübresi olarak kullanılabilme olasılığı göz önüne alınmış, ayrı ayrı basınçlı ve basınçsız hidroliz denemeleri yapılmış ve sonuçlar bulgular kısmında verilmiştir. Bununla birlikte, katı UFR atıklarının, çözeltiliye göre daha uzun süreli bir azot gübresi olabileceği varsayımıyla, bu materyalin hidroliz ürünlerinin gübre olarak kullanılmasının ayrıntılı araştırmaları gerçekleştirilmeden, ince kırılmış katı UFR atıkları ile saksı denemelerine geçilmiştir.

UFR atıkları, 10-15 cm büyük parçalar halinde buldukları için, öğütülerek ince kum tanesi boyutlarına getirilmiş ve toprakla homojen bir karışım elde edilmiştir. Eryılmaz ve Demirarslan



(2022) tarafından yapılan daha önceki çalışmada toprakla %0,4 ve %0,8 oranlarında kullanılan UFR atıkları, bu çalışmada %0,8'den biraz daha düşük %0,75 oranıyla başlanarak %1,75 oranına kadar arttırılmış ve böylece azot miktarı skalası biraz daha genişletilmiştir.

Karşılaştırma için, birinci saksıya hiçbir UFR kırıntısı eklenmemiş, tohumlar ekildikten sonra, toprak hafif nemli bir durumda tutularak tüm saksılar eşit şekilde çeşme suyu ile sulanmıştır. Her saksıdan dört fide çıktıktan sonra, en sağlıklı ve güçlü görünen fide seçilip diğer üçü kesilmiştir. Fidelerin büyümesindeki önemli değişiklikler dökümantasyon amacıyla fotoğraflanmış ve bu fotoğraflar Şekil 2'de, büyümeyle ilgili ayrıntılı rakamlı veriler ise Tablo 2'de sunulmuştur.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. UFR Atıklarının Hidroliz Deneyleri

##### Atmosfer Basıncında Geri Soğutucuda UFR Atıklarının Hidrolizi Deneyleri

UFR atıklarının çevresel etkilerini azaltmak ve bu atıkları tarımsal kullanım için daha uygun hale getirmek amacıyla gerçekleştirilen hidroliz deneyleri dikkatli bir şekilde yapılmış ve detaylar aşağıda rakamlar halinde verilmiştir.

Denemeler, 10 g UFR atığı kırığı ve 90 g suyun atmosfer basıncında geri soğutucuda 24 saat boyunca kaynatılmasıyla başlamıştır. Hidroliz işlemi sonucunda elde edilen karışım soğutulmuş, süzölmüş ve kalan UFR kırığı 6,46 g olarak tespit edilmiştir. Daha sonraki aşamada, süzöntü ve bu kırık parçalar, su ilavesiyle 100 g 'a tamamlanarak 79 saat boyunca kaynatılmış, karışım soğutulup süzölmüş, katı kısım kurutulmuş ve kalan UFR kırığı 4,01 g olarak ölçölmüştür.

Hidroliz denemesinin devamında, kalan UFR kırığı ve süzöntü, su ilavesiyle 100 g 'a tamamlanmış ve 141 saat daha kaynatılmıştır. Bu üçüncü kaynatma aşamasında, 105°C sıcaklığında geri soğutucudan azar azar amonyak (NH<sub>3</sub>) ve formaldehit (CH<sub>2</sub>O) kokuları algılanmıştır. Karışım tekrar soğutulup süzölmüş ve kurutulduğunda kalan UFR kırığı 3,00 g olarak ölçölmüştür.

Deneyin sonucunda toplanan tüm süzöntü (pH 8-8,5), rotary evaporatör kullanılarak vakum altında uçurulmuş ve bu işlem sonucunda 5,52 g beyaz bir çökelti elde edilmiştir.

Toplamda 10 gün süren bu deneylerin sonucunda, UFR'nin %55,2 'sinin daha küçük moleküller halinde hidroliz olarak çözüdüğü, %30,0'unun çözünmediği (inorganik dolgu) ve eksik olan %14,8'inin NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub> ve CH<sub>2</sub>O gazları olarak uçtuğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, UFR atıklarının hidroliz ile işlenebileceğini ve elde edilen sıvı ürünlerin, tarımsal kullanım potansiyelini göstermiştir.

Daha da önemlisi bu denemeler, UFR atıklarının ancak 10 gün içinde kaynama sıcaklığında (105 °C) %55 oranında (bu oran UFR atığı cinsine göre değişiklik gösterir) çözünme yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, bu deneyler sayesinde, UFR atığı kırıklarının toprakta

soğukta (~ 10-20 °C) daha uzun süreli dayanım gösterebileceği ve yavaş salınan bir azot gübresi olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Bu bulgular, UFR atıklarının çevresel ve tarımsal kullanım potansiyelini ön plana çıkarmaktadır.

### Yüksek Basıncılı Otoklavda UFR Atıklarının Hidroliz Deneyleri

Bu çalışmada, hidroliz işlemi için yüksek basınçta kullanılan özel bir cihaz olan Anton Paar Micro-monowave reaktöründen (Austria Anton Paar GmbH) yararlanılmıştır. Bu reaktör, kalın cidarlı tüp şeklinde 30 ml cam bir kap, teflon sızdırmaz bir kapak, karıştırma hızının ayarlanabildiği mini bir manyetik karıştırıcı ve ısıtma süresi, basınç ve sıcaklık koşullarının hassas bir şekilde ayarlandığı mikrodalga bir ısıtıcıdan oluşmaktadır. Bu ekipman kullanılarak toplam 10 g olan UFR atığı ile su karışımları, farklı sıcaklık, basınç ve sürelerde hidrolize tabi tutulmuş, hidroliz sonrasında tamamen soğumasının ardından gaz kokusu kontrol edilerek otoklav tüpü açılmış, karışım boşaltılmış, süzölmüş ve kurutulmuş, son olarak hidrolizle çözünme yüzdeleri belirlenmiştir. Deney parametreleri kolaylık ve karşılaştırma bakımından Tablo 1'de özet olarak belirtilmiş, sonra detaylı deney sonuçları ile yorumları yapılmış, bir örnek olması bakımından da, sadece 9. deneyin grafiği Şekil 1'de verilmiştir.

Bu yöntem, UFR atıklarının hidroliz işleminde farklı parametrelerin etkilerinin değerlendirilmesine olanak tanımaktadır (Deney 1'deki 45 dk ısınma süresinin, deney 2'de 60 dk yapılmasının, basıncı 14 Bar'dan 29 Bar'a çıkarması gibi) . Sonuçlar, farklı işlem koşullarının UFR atıklarının hidroliz verimliliği üzerindeki etkilerini belirlemek için önemli bilgiler sunmaktadır.

**Tablo 1.** UFR Sulu Ortamda, Otoklavda Yüksek Basıncılı Hidroliz Çalışmaları

Deney No	Atık UFR miktarı (g)	Hidroliz Sıcaklığı (°C)	Isınma Süresi (dk)	Karıştırma Hızı (devir/dk)	Oluşan Basınç (Bar)
1	2,5	160	45	300	14,0
2	2,5	160	60	300	29,3
3	4,0	160	45	300	14,8
4	3,0	160	30	300	11,3
5	3,0	150	30	300	6,3
6	3,0	150 (Alt sınır)	15 (Alt sınır)	300	4,4
7	3,0	150	20	300	5,5
8	3,0	150	25	300	5,6
9	3,0	150	30	300	5,7

Tablo 1'den görüleceği üzere, başlangıç malzemesi olarak 2,5 ila 4 g arasında değişen miktarlarda UFR atığı kullanılmış, su ilavesiyle toplam karışım 10 g olarak sabitlenmiştir.

İlk deneyde, 10 g karışım 160 °C'de 45 dakika boyunca ısıtılmıştır. Bu işlem sonucunda karışımın yaklaşık yarısı viskoz bir sıvı haline gelmiş ve diğer yarısı lapa kıvamında beyaz bir çözünmeyen toz oluşturmuştur. Çözünmeyen beyaz tozun ağırlıkça oranı %31 olarak belirlenmiştir.

İkinci deneyde, yine 10 g karışım 160 °C'de bu sefer 60 dakika boyunca ısıtılmıştır. Bu işlem sonucunda açık sarı bir sıvı faz oluşmuş ve bu sıvının viskoz bir karakterde olduğu gözlenmiştir. Sıvı fazın karakteristik kokusu, az miktarda formaldehit (CH<sub>2</sub>O) ve daha fazla amonyak (NH<sub>3</sub>) içermektedir. Ayrıca, çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %30 olarak tespit edilmiştir.

Üçüncü deneyde, 10 g karışım 160 °C'de 45 dakika boyunca ısıtılmış ve sonuç olarak suyunu çekmiş bir lapa kıvamındaki faz oluşmuştur. Bu faz, az miktarda amonyak (NH<sub>3</sub>) ve daha fazla formaldehit (CH<sub>2</sub>O) kokusu taşımaktadır. Çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %34 olarak tespit edilmiştir.

Dördüncü deneyde, 10 g karışım 160 °C'de 30 dakika boyunca ısıtılmıştır. Çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %33 olarak tespit edilmiştir. Bu deney sırasında %9'luk bir gaz kaçağı gözlemlenmiş ve hidroliz ve yıkama çözeltileri, 95 °C sıcaklıkta uçurulduğunda oluşan UFR oranı %51'e yükselmiş ve uçan gazın oranı ise %7 olmuştur.

Beşinci deneyde, 10 g karışım 150 °C'de 30 dakika boyunca ısıtılmıştır. Bu deney sonucunda çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %34 olarak belirlenmiş ve otoklavda ve çözelti uçurulmasından kaynaklanan toplam gaz kaybı %5 olarak saptanmıştır. Hidroliz ve yıkama çözeltilerinin 95 °C sıcaklıkta uçurulmasında oluşan UFR oranı ağırlıkça %61'dir.

Altıncı deneyde, 10 g karışım yine 150 °C'de 15 dakika boyunca ısıtılmıştır. Bu deney sonucunda %1 oranında gri UFR atığı kalmış ve çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %38 olarak tespit edilmiştir. Otoklavdan gaz kaçağı %2 olup, hidroliz ve yıkama çözeltilerinin 95 °C'de uçurulmasında oluşan UFR oranı ağırlıkça %55'tir ve uçan gazın oranı %4'tür. Hala hidroliz olmamış gri UFR atığından dolayı 150 °C ve 15 dakika hidrolizde alt sınır olarak alınmıştır.

Yedinci deneyde, 10 g karışım 150 °C'de 20 dakika boyunca ısıtılmıştır. Çözünmeyen beyaz toz oranı ağırlıkça %33 olarak belirlenmiş ve otoklavda ve çözelti uçurulmasından kaynaklanan toplam gaz kaybı %8 olarak hesaplanmıştır. Hidroliz ve yıkama çözeltilerinin 95 °C'de uçurulmasında oluşan UFR oranı ağırlıkça %59'dur.

Sekizinci ve dokuzuncu deneylerde, 10 g karışım 150 °C'de 25 ve 30 dakika boyunca ısıtılmıştır. Elde edilen süte benzer karışım süzülmeden 90 °C de uçurularak geri kazanılan UFR oranları sırasıyla ağırlıkça %94 ve %89'dur. Otoklavdan gaz kaçağı %4 ile %5 arasında değişmektedir ve buharlaştırmada uçan gazın oranı %2 ile %4 arasındadır. İkinci deneyde, bu gazların içeriğinde formaldehit (CH<sub>2</sub>O) kokusu baskın olarak gözlemlenmiştir.

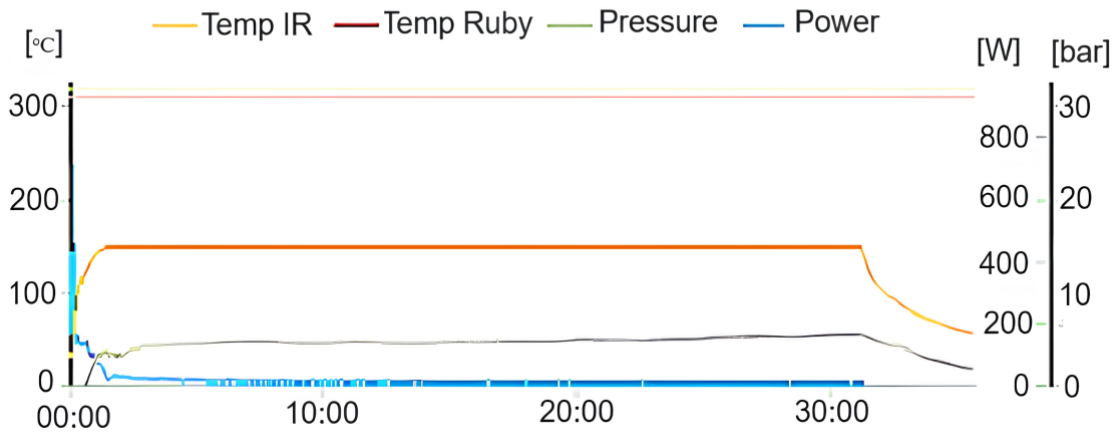
Bu deneyler, farklı hidroliz koşulları altında UFR atığının dönüşümünü ve özelliklerini belirlemek için yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, UFR atığının farklı bileşenlerine ve özelliklerine sahip olduğunu göstermektedir. Hidroliz sıcaklığı, süre ve basınç gibi faktörlerin, ürün bileşimi üzerinde belirgin etkilere sahip olacağı açıktır.

Atık UFR örneklerinin analizi, hidroliz sürecine tabi tutulduğunda, özgül UFR'nin içinde suda çözünmeyen inorganik dolgu maddelerinin varlığını açığa çıkarmıştır. Bunların miktarı deney hataları içinde en az %30 bulunmuştur. Bu dolgu maddeleri (kireç taşı gibi), hidroliz işlemine direnç göstermektedir ve bu nedenle hidroliz sonucu çözünmez, beyaz bir toz halinde süzülerek atılabilir.

Hidroliz işlemi sonucunda elde edilen sıvı azot gübresi, özellikle gaz kaçağının bulunmadığı sıkı bir otoklavda gerçekleştirildiğinde,  $NH_3$  ve  $CH_2O$  kaybı yaşanmaz. Bu, denediğimiz UFR atığının %30 'luk çözünmeyen inorganik dolgu maddelerini çıkarılırsa %70 'inin sıvı gübre olarak kullanılacağı anlamına gelir. Dolgu maddesi içermeyen saf UFR atığı ise, %100 sıvı azot gübresine dönüştürülebilir. Sonuç olarak, bu analizler, UFR atığının sıvı gübre olarak kullanımının potansiyelini vurgulamaktadır.

Ayrıca, Tablo 1'deki son sıradaki 9. deneyin grafiği, Şekil 1'de örnek olarak sunulmuştur. Bu grafik, UFR'nin hidroliz sonucu sıvı azot gübresine dönüşüm sürecini sıcaklık, basınç ve zaman olarak göstermektedir. Isıtma süresince sıcaklık sabit kaldığı halde basıncın özellikle 20'ci dakikadan sonraki 10 dk içinde 0,2 bar kadar arttığı görülüyor ki, ilerleyen hidroliz ile  $NH_3$ ,  $CO_2$  ve  $CH_2O$  gazları oluşumunu gösterir. Isıtma kesilirse, basıncın 2. deneydeki gibi, 20 bar değerlerine çıkacağı anlaşılmaktadır.

Hızlı çözünme yeteneğine sahip sıvı azot gübresinin, uzun vadeli bir azot kaynağı olarak kullanıldığında, azotu toprağa hızla sağladıktan sonra bitki tarafından aynı hızla alınmadan azot içeriğini kaybedebileceği endişesiyle, saksı denemelerinin yapılması daha uygun ve yararlı görülmüştür. Bu denemeler, ince kırılmış UFR atıklarının uzun vadeli azot kaynağı olarak direk tarımsal uygulamalar için ne kadar verimli olduğunun incelenmesini sağlayacaktır.



Şekil 1. Atık UFR Hidrolizinin Zaman-Sıcaklık-Basınç Grafiği

### İnce Kırmızı UFR Atıklarının Saksıda Doğrudan Gübre Olarak Kullanım Deneyleeri

Bu çalışmada ise, daha önce Eryılmaz ve Demirarslan (2022) tarafından yürütülen araştırmada olduğu gibi, Artvin-Seyitler köyü çiftçileri tarafından yetiştirilen acı kırmızıbiber bitkisinin tohumları kullanılmıştır. İnce kum tanesi boyutlarında öğütülmüş UFR atıkları miktarı, saksılarda sırayla %0,75 - %1,25 ve %1,75 oranında olacak şekilde arttırılarak toprakla homojen bir karışım haline getirilmiş, karşılaştırma için, birinci saksıya hiçbir UFR kırıntısı eklenmemiştir(Kontrol Saksısı). Tohumlar ekildikten sonra, her saksıdan dörder fide çıkışı, en sağlıklı görünen fidenin seçilip diğer üçünün kesilmesi, biber meyvelerinin gelişimi fotoğraflanmış ve sonuç olarak bu fotoğraflar Şekil 2'de, biber bitkilerinin gelişimi ile ilgili ölçüme dayalı ayrıntılı veriler ise, Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** Acı Kırmızıbiber Fidelerinin Gelişim Detayları

Dikim Sonrası	Kontrol Saksı	% 0,75 UFR Katkılı Saksı	% 1,25 UFR Katkılı Saksı	% 1,75 UFR Katkılı Saksı
10. Gün	İki yapraklı 3 fide	İki yapraklı 3 fide	İki yapraklı 3 fide	İki yapraklı 4 fide
14. Gün	İki yapraklı 4 fide, en güçlüsü kaldı, diğer üçü kesildi	İki yapraklı 4 fide, en güçlüsü bırakıldı, diğer üçü kesildi	İki yapraklı 4 fide, en güçlüsü bırakıldı, diğer üçü kesildi	İki yapraklı 4 fide, en güçlüsü bırakıldı, diğer üçü kesildi
27. Gün	Altı yapraklı fide	Altı yapraklı fide	Altı yapraklı fide	Altı yapraklı fide
42. Gün	12 yaprak, 126 mm fide boyu	12 yaprak, 133 mm fide boyu	12 yaprak, 148 mm fide boyu	12 yaprak, 144 mm fide boyu
82. Gün	26 yaprak, 61 cm fidan boyu	30 yaprak, 65 cm fidan boyu	29 yaprak, 60 cm fidan boyu	30 yaprak, 71 cm fidan boyu
91. Gün	2 Çiçek, temiz	5 Çiçek, temiz	1 Çiçek, bit hastalığı	3 Çiçek, temiz
134.Gün	Fidan boyu 62 cm, iki yeşilbiber (10-8 cm), en az bitli	Fidan boyu 78 cm, beş yeşilbiber (8-10-10-4-1 cm), az bitli	Fidan boyu 66 cm, üç yeşilbiber (6-3-1 cm), en çok bitli	Fidan boyu 86 cm, üç yeşilbiber (10-12-9 cm), bitli
188.Gün	İki kırmızı biber	Üç kırmızı, bir sarı biber	Bir kırmızı biber	Üç kırmızı biber
253.Gün	Boy 62 cm, kırmızı iki biber (11-8 cm)	Boy 78 cm, kırmızı dört biber (8-10-11-3 cm)	Boy 66 cm, kırmızı bir biber (5 cm)	Boy 85 cm, kırmızı üç biber (11-11-10 cm)

Dikim Sonrası tüm saksılarda, tohumların ekilmesinin ardından 10 gün boyunca fidelerin ikinci yaprak aşamasına ulaştığı gözlemlenmiştir. Ancak, %1,75 UFR katkılı saksıda çıkan ek dördüncü fide, bitkilerin UFR ile gelişimini desteklemektedir.

14. gün sonunda, her saksıda dört fideye sahip bitkilerin olduğu gözlemlenmiştir. En sağlıklı olanlar diğer üç fideleri kesilerek seçilmiştir.

Tüm saksılardaki bitkiler 27 günde altı yaprak aşamasına ulaşmıştır, bu dönemde UFR katkısının farkı henüz belirgin değildir.

42 gün sonra, tüm saksılardaki bitkiler 12 yaprak sayılarına sahiptir. UFR katkısının etkisi biraz fide boylarında ortaya çıkmıştır.

Bitkiler 82 günde daha fazla yaprak geliştirmiş ve boyutları artmıştır. Bu aşamada, ilginç olan %1,25 UFR katkılı bitki boyunun 42. günde en uzun iken 82. günde en kısa kalmış olmasıdır. Gözle görülemez de, bit zararının başladığı ve bitki boyunu etkilediği anlaşılmaktadır.

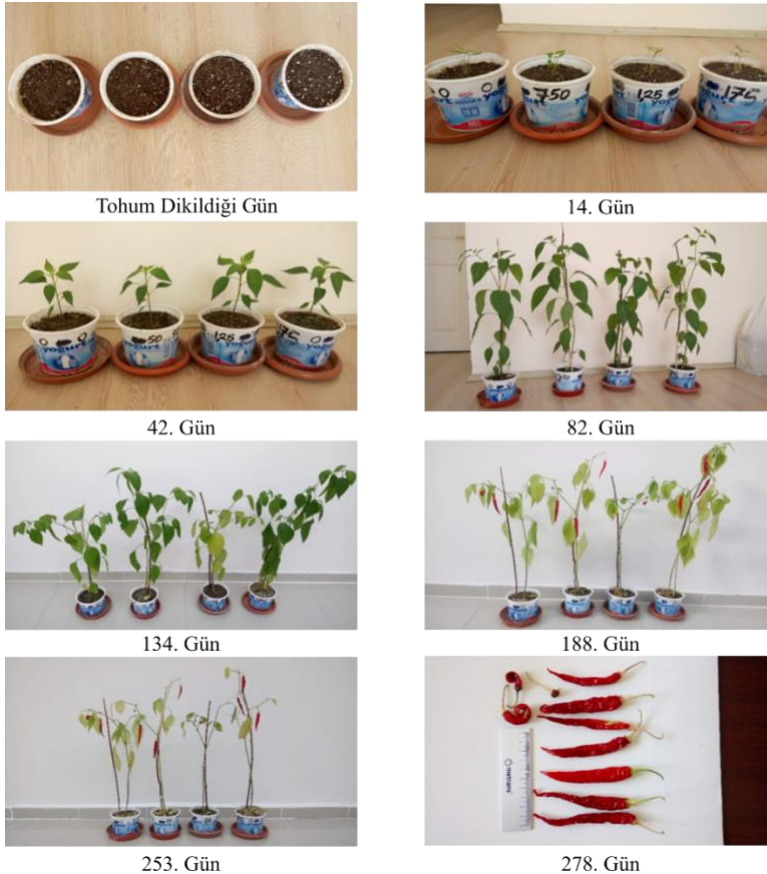
91. gün sonra, çiçeklenme dönemine geçiş gözlemlenmiştir. %0,75 ve %1,75 UFR katkılı saksılardaki bitkiler daha fazla çiçek geliştirmiş ve daha sağlıklı görünmektedir. Ancak, %1,25 UFR katkılı saksıda bit zararının, çiçek sayısını azalttığı açıkça ortaya çıkmıştır.

Bitkiler 134. günde olgunlaşma aşamasına gelmiştir. %0,75 UFR katkılı saksıdaki bitki, üstündeki bitler az olduğu için, en sağlıklı durumdadır ve iki kırmızıbiber üretmiştir.

188. gün sonunda, %0,75 UFR katkılı saksıdaki bitkinin, üç kırmızı ve bir sarı olarak en çok sayıda biber ürettiği gözlemlenmiştir. Diğer saksılardaki bitkilerin verimi daha düşüktür.

253. günde, %0,75 UFR katkılı saksıdaki bitki, en iyi performansı sergileyerek dört kırmızıbiber üretmiştir. Diğer saksılardaki bitkilerin verimi daha düşük olmuştur.

Bu deneyler, %0,75 UFR katkısının dahi bitkilerin büyümesini ve verimini %100 artırdığını (örneğin, 2 biber yerine 4 biber elde edilmesi) göstermektedir. Ancak, %1,25 ve %1,75 UFR katkılı saksılarda istenmeyen bit zararının neden olduğu daha düşük sonuçlar, kesin bir yargıya varmayı zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, 134. gün sonrasında yapılan ölçümler, artan UFR seviyelerinin bitki boyutlarını arttırdığını (62-78-66-86 cm) işaret etmektedir. Eğer bit zararı olmasaydı, üçüncü saksıdaki bitki boyunun da 66 yerine 82-84 cm aralığında olması beklenirdi.



Şekil 2. Biber Fidelerinin Ekim Sonrası Gelişim Fotoğrafları

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların genellikle üre-formaldehit gübresi kullandığı görülmektedir. Ancak, bu yeni çalışma UFR atığının kullanılmasıyla ilgili olarak daha maliyet-etkin bir yöntem sunmaktadır.

El-Monem ve arkadaşları (2009) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, üre-formaldehit gübresinin, mango ağaçlarının verimliliği üzerinde olumlu bir etkisinin olduğu belirtilmektedir. Sonuçlar, üre-formaldehit uygulamalarının, verim (meyve sayısı veya ağaç başına kg ağırlık olarak), ve meyve kalitesi üzerinde geleneksel üre gübresine göre daha olumlu bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Nektarios ve arkadaşları (2004), toprağa üre-formaldehit reçine köpüğü (UFRF) katkısının çim büyümesi üzerindeki etkilerini incelemiş ve sonuç olarak, UFRF'nin toprağa katılmasının çim büyümesini artırdığı ancak kök büyümesi ve çim kurulum hızı açısından sınırlı fayda sağladığı belirlenmiştir.

Süs bahçeciliği endüstrisinde kullanılan bir tür olan *Flindersia schottiana* fidanlarının büyümesi üzerine yapılan bir çalışmada, üre formaldehit reçine köpüğü(UFRF) katkısının fidanların büyümesini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Özellikle, uygulamaların yaprakçık sayısını artırdığı ve fidanların boyu uzamasına da, geçici su stresine karşı daha dayanıklı hale getirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, farklı toprak tiplerinde (kum, silt, kil) yapılan deneylerde, fidanların büyümesini kum ve silt topraklarda artırdığı ancak kil toprağında benzer bir etki göstermediği tespit edilmiştir (Chan & Joyce, 2007).

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışma, plastik enjeksiyon ve sentetik tahta levha sanayilerinden kaynaklanan UFR atıklarının, tarımsal uygulamalarda kullanılabilirliğini incelemeyi amaçlamaktadır. UFR polimerlerinin içeriğinde bulunan üre, bu atıkların tarımsal gübre olarak kullanılabilme potansiyelini sunar. Daha önceki bir çalışmamızda (%0,8 katkı oranının %0,4'ten daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Ancak, bu çalışmanın sonuçları, tohum ekimi sonrası 42. günde en iyi sonucun %1,25 katkı oranıyla elde edildiğini göstermektedir.

Öte yandan, çalışmada gözlemlenen yaprak biti, özellikle 82. günden itibaren yapraklara zarar vererek saksıların verimini düşürmüştür. Bununla birlikte, 134. günde en uzun biberleri veren saksının %1,75 katkılı olduğu görülmüştür. Bu saksıda, biber sayısı azalmasına rağmen 11-11-10 cm uzunluğunda biberler elde edilmiştir. Ancak erken dönemde bitlenme olmamış olsaydı 42. Gün boy uzunluklarından %1,25 UFR atık katkılı saksının en iyi sonucu vereceği düşünülmektedir. Bu nedenle uygulamada, katkı oranının %0,75 ile %1,25 arasında değişebileceği, göz önünde bulundurulmalıdır.

Ayrıca, katı UFR atıklarının içindeki inorganik dolgu maddeleri hariç, UFR kısmının sıvı gübre olarak kullanılabilirliği de değerlendirilmiştir. Ancak bu tür sıvı gübreler, yağmurlarla yıkanabilir ve bitkiler tarafından tam olarak alınmadığından verim düşebilir ve ayrıca hidroliz de maliyeti artırabilir. Bu nedenle, sıvı gübre olarak kullanılması durumunda dikkatli bir yaklaşım gerekmektedir.

Sonuç olarak bu çalışma, UFR atıklarının, tarımsal uygulamalarda verimli bir şekilde kullanılabilme potansiyeli taşıdığını ortaya koymaktadır. Ancak, bu atıkların tarım sektöründe kullanımının daha verimli olması için, daha fazla araştırma ve hassas çalışmalar gereklidir.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- Akinterinwa, A., Ismaila, A., and Aliyu, B. (2020). Concise Chemistry of Urea Formaldehyde Resins and Formaldehyde Emission. *Insights in Chemistry and Biochemistry*, 1(1), 1-6.
- Chan, C. L., and Joyce, D. (2007). Effects of urea formaldehyde foam soil amendment on growth and response to transient water deficit stress of potted *Flindersia schottiana* saplings. *Scientia Horticulturae*, 114(2), 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.06.002>
- Dorieh, A., Mahmoodi, N., Mamaghani, M., Pizzi, A., and Mohammadi Zeydi, M. (2018). Comparison of the Properties of Urea-Formaldehyde Resins by the Use of Formalin or Urea Formaldehyde Condensates. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 32(23), 2537-2551.
- Dunky, M. (1998). Urea-Formaldehyde (UF) Adhesive Resins for Wood. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 18, 95-107.
- Eryılmaz, H., Demirarslan, K. O. (2022). Plastik Kirliliğine Karşı Yeni Bir Uyum Çalışması: Plastik Atık ve Toprak Karışımında Bitki Üretimi. *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 5 (2), 74-83.
- El-Monem, E. A. A. A.; Saleh, M. M. S.; Mostafa, E. A. M. (2009). Effect of urea-formaldehyde as a slow release nitrogen fertilizer on productivity of mango trees. *Green Farming*, 2, 592–595.
- Guo, Y., Zhang, M., Liu, Z., Tian, X., Zhang, S., Zhao, C. and Lu, H. (2018). Modeling and Optimizing the Synthesis of Urea-formaldehyde Fertilizers and Analyses of Factors Affecting these Processes. *Scientific Reports*, 8, 4504.
- Liu, M., Wang, Y., Wu, Y., & Wan, H. (2018). Hydrolysis and recycling of urea formaldehyde resin residues. *Journal of Hazardous Materials*, 355, 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.05.019>



- Lubis, M. A. R., Hong, M. K., & Park, B. D. (2017, May 22). Hydrolytic Removal of Cured Urea-Formaldehyde Resins in Medium-Density Fiberboard for Recycling. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 38(1), 1–14. <https://doi.org/10.1080/02773813.2017.1316741>
- Nektarios, P. A., Nikolopoulou, A. E., and Chronopoulos, I. (2004). Sod establishment and turfgrass growth as affected by urea-formaldehyde resin foam soil amendment. *Scientia Horticulturae*, 100(1–4), 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2003.08.005>
- Ohalete, M. N., Popoola, A. V. (2019). Urea-Formaldehyde Resins Synthesis, Modification and Characterization. *OSR Journal of Applied Chemistry*, 12(8), 19-25.
- Osemeahon, S. A., Barminas, J. (2007). Study of Some Physical Properties of Urea Formaldehyde and Urea Proparaldehyde Copolymer Composite for Emulsion Paint Formulation. *International Journal of Physical Sciences*, 2(7) 169-177
- Saito, K., Hirabayashi, Y., and Yamanaka, S. (2021). Reduction of Formaldehyde Emission from Urea-Formaldehyde Resin with a Small Quantity of Graphene Oxide. *Royal Society of Chemistry*, 11, 32830-32836.
- Song, J., Chen, S., Yi, X., Zhao, X., Zhang, J., Liu, X. and Liu, B. (2021). Preparation and Properties of the Urea-Formaldehyde Res-In/Reactive Halloysite Nanocomposites Adhesive with Low-Formaldehyde Emission and Good Water Resistance. *Polymers*, 13, 2224.
- Tohmura, S. I., Hse, C. Y. and Higuchi, M. (2000). Formaldehyde Emission and High-Temperature Stability of Cured Urea-Formaldehyde Resins. *Journal of Wood Science*, 46, 303-309.
- Yang, X., Ru, X., Shi, J., Song, J., Zhao, H., Liu, Y. and Zhao, G. (2018). Granular, Slow-Release Fertilizer from Urea-formaldehyde, Ammonium Polyphosphate, and Amorphous Silica Gel: A New Strategy Using Cold Extrusion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66, 7606–7615.
- Yüce, Ö., Başboğa, İ. H., Atar, İ., Karakuş, K. and Mengeloğlu, F. (2020). Utilization of Urea Powders with Different Sizes as a Formaldehyde-Scavenger in the Particleboard Manufacturing. *Sigma Journal of Engineering & Natural Sciences*, 11(2), 193-202.
- Zorba, T., Papadopoulou, E., Hatjiissaak, A., Paraskevopoulos, K. M. and Chrissafis, K. (2008). Urea-Formaldehyde Resins Characterized by Thermal Analysis and FTIR Method. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 92(1), 29-33.

## **Biogenic Synthesis of Silver and Iron Oxide Nanoparticles Using *Aronia prunifolia* Leaf Extract and Its Inhibitory Action Against Pathogenic Fungi**

Luay Burhan MUSTAFA<sup>1\*</sup>, Ahmed ALBAYATI<sup>2</sup>, Dunya Nadhim FATHI<sup>3</sup>, İbrahim ÖZKOÇ<sup>4</sup>

### **Abstract**

Because of the environment and abundant renewable resources, exploiting plant extracts to form metallic nanoparticles has become a promising alternative to chemical and physical methods. Numerous studies have shown that nanoparticles of silver (AgNPs) and iron oxide (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs) have inhibitory effects against pathogenic fungi. In this study, we used the leaf extract of *Aronia prunifolia* to generate biogenic AgNPs and FeNPs, aiming to demonstrate the impact of nanoparticles on pathogenic fungi. Nanoparticles are characterized by UV-Vis, X-ray diffraction, EDX spectrum, and SEM techniques. Leaf extracts used for nanosynthesis yielded silver and iron oxide nanoparticles with distinct color changes and absorption peaks, showcasing tetragonal, pentagonal, and hexagonal shapes (15-50 nm) for silver and spherical morphology (16-60 nm) for iron oxide. The antifungal effectiveness of nanoparticles against *Aspergillus fumigatus*, *Rhizoctonia solani* Ag4 HgII, and *Aspergillus flavus* was investigated using a well diffusion method. Inhibition zones, ranging from 12.5 to 35.0 mm for AgNPs and 7.1 to 17.1 mm for FeNPs at concentrations of 10 to 30 µg/ml respectively, demonstrated the superior inhibitory potential of AgNPs over FeNPs. This study aims to address a gap in the literature by examining the inhibitory effects of green AgNPs and FeNPs on pathogenic fungi. Encased nanoparticles can be very useful in treating fungal infections; this will be the first investigation into the production of nanoparticles from *A. prunifolia* leaves.

**Keywords:** Well diffusion method, Nanoparticle characterization, *Aronia prunifolia*, Green synthesis, Antifungal activity.

## ***Aronia prunifolia* Yaprağı Ekstresi Kullanılarak Gümüş ve Demir Oksit Nanopartiküllerinin Biyojenik Sentezi ve Patojenik Funguslara Karşı İnhibitör Etkisi**

### **Öz**

Çevre ve yenilenebilir kaynakların bolluğu nedeniyle, metalik nanopartiküller oluşturmak için bitki özlerinden yararlanmak, kimyasal ve fiziksel yöntemlere umut verici bir alternatif haline geldi. Çok sayıda çalışma, gümüş (AgNP'ler) ve demir oksit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NP'ler) nanopartiküllerinin patojenik funguslara karşı önleyici etkiler olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada *Aronia prunifolia*'nın yaprak ekstrektü kullanılarak biyojenik AgNP'ler ve FeNP'ler üretilerek yaprak ekstrektü ve nanopartiküllerin patojenik funguslar üzerindeki etkileri gösterilmiştir. Nanopartiküller UV-Vis, X-ışını kırınımı, EDX spektrumu ve SEM teknikleriyle karakterize edilmiştir. Nanosentez için kullanılan yaprak ekstrektüleri, gümüş için dörtgen, beşgen ve altıgen şekiller (15-50 nm) ve demir oksit için küresel morfoloji (16-60 nm) sergileyen, farklı renk değişimleri ve absorpsiyon zirveleri olan gümüş ve demir oksit nanopartikülleri verdi. Nanopartiküllerinin *Aspergillus fumigatus*, *Rhizoctonia solani* Ag4 HgII ve *Aspergillus flavus*'a karşı antifungal aktivitesi, iyi bir difüzyon yöntemi kullanılarak incelenmiştir. 10 ila 30 µg/ml konsantrasyonlarda AgNP'ler için 12.5 ila 35.0 mm ve FeNP'ler için 7.1 ila 17.1 mm arasında değişen inhibisyon bölgeleri, AgNP'lerin FeNP'lere göre üstün inhibitör potansiyelini ortaya koydu. Bu çalışmada, yeşil AgNP'ler ve FeNP'nin patojen fungus izolüne karşı önleyici aktivitesini karşılaştırarak literatürdeki bir boşluğu doldurmayı umuyoruz. Kaplanmış nanopartiküller fungus enfeksiyonlarının tedavisinde çok faydalı olabilir; bu, *A. prunifolia* yapraklarından nanopartiküllerin üretimine yönelik ilk araştırma olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Well difüzyon yöntemi, Nanopartikül karakterizasyonu, *Aronia prunifolia*, Yeşil sentez, Antifungal aktivite.

<sup>1,2,4</sup>Ondokuz Mayıs University, Department of Biology, Faculty of Sciences, Samsun, Turkey, [luayburhan25@gmail.com](mailto:luayburhan25@gmail.com), [naqee6@gmail.com](mailto:naqee6@gmail.com), [ozkoci@omu.edu.tr](mailto:ozkoci@omu.edu.tr)

<sup>1</sup>Tikrit University, Department of Biology, Faculty of Education for Pure Science, Tikrit, Iraq, [luayburhan25@gmail.com](mailto:luayburhan25@gmail.com)

<sup>3</sup>General Directorate of Educational Salah Al-Din Province, Iraqi Ministry of Education, Tikrit, Iraq, [dunyaalbayati84@gmail.com](mailto:dunyaalbayati84@gmail.com)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

## 1. Introduction

Nanotechnology has emerged as the most innovative and revolutionary scientific field in decades, dealing with matter in the nanoscale range (1–100 nanometers). A rapidly developing branch of research, nanotechnology has several applications in a variety of industries, including agriculture and medicine (Khan and Rizvi, 2014; Sahu and Tiwari, 2023). Because of the biocompatibility, low toxicity, and environmentally benignity of both the technique and the nanoparticle (NPs) products, the biosynthesis of nanoparticles or green synthesis of nanoparticles has garnered much attention recently (Mohammadlou et al., 2016). One advantage of employing biological materials to synthesis nanoparticles is that it uses less energy and modest technology without the use of harmful chemicals; examples of these materials include bacteria, yeast, mold, microalgae, and plant extracts (Mie et al., 2014; Mohammadlou et al., 2016; Aseel et al., 2023).

There is a vast array of uses for biosynthetic nanotechnology in energy research, electronics, mechanics, food and feed, medicinal science, cosmetics, chemical industries, medication, and gene delivery. A diverse range of unique physicochemical features and a wide variety of possible applications, including material science and healthcare applications, are achieved by the decrease in material size (Sivasankarapilai et al., 2019).

Silver, which has high antibacterial, antifungal, and antiviral properties, is one of the materials commonly used to make nanomaterials, along with gold, copper, magnesium, and zinc (Abou El-Nour et al., 2010; Faisal and Kumar., 2017). Silver nanoparticles, often known as AgNPs, have several applications, such as coatings, biological labelling, optical receptors, intercalation material in electrical batteries, and catalysts in chemical processes. Researchers think that because AgNPs have a huge surface area and interact directly with bacteria, this contributes to their great antimicrobial activity (Mira et al., 2015; Stabryla et al., 2023).

It is widely known that silver nanoparticles can function as a catalyst for a variety of antibacterial processes (Salam et al., 2012; Hai et al., 2022), healthcare, and sensors (Kuppusamy et al., 2016). Its ability to suppress bacteria found in a variety of industrial and medicinal processes has been demonstrated. By adhering to the cell wall and causing it to become permeable, they allow themselves to enter bacteria cells (Javed et al., 2021). The interaction of nanoparticles with microbial DNA, proteins, or enzymes inhibits cell growth (Singh et al., 2010; Saxena and Raj., 2021). Metallic nanoparticles have proven useful in a variety of applications, including biomedicine (Sulaiman et al., 2013, Singh et al., 2021), catalysis (Raj et al., 2020), antimicrobial agent (Al-Otibi et al., 2020), antiplasmodial agent (Okaiyeto et al., 2021), textile engineering (Dubas et al., 2006), drug delivery (Khalid and El-Sawy., 2017).

Iron nanoparticles (FeNPs) are one type of metal nanoparticle that has found extensive use in medicine delivery, solar energy conversion, and biological applications (Khlebtsov and Dykman, 2011; Iv et al., 2015; Kisimba et al., 2023). Furthermore, FeNPs exhibit significant toxicity against a wide range of pathogenic fungi and bacteria (Mahmoud et al., 2011; Golipour et al., 2019). The production of FeNP utilizing bio-based materials has gained significant attention in nanoscience and technology due to its exceptional features and applications (Goswami et al., 2018). There have been reports of the biosynthesis of FeNPs using plants, microbes, and enzymes (Devatha et al., 2016; Raj et al., 2018). Plant-based materials are the most beneficial among biological sources because they include secondary metabolites and/or higher bioactive compounds that may be efficiently reduced to serve as a capping agent for the synthesis of FeNPs (Charbgoon et al., 2017).

Metal oxide nanoparticles have shown promise as a substitute for organic nanomaterials in the investigation of several approaches to combat microbial resistance to antibiotics because they are more stable, selective, and have better endurance than organic nanomaterials (Stankic et al., 2016). Since plant extracts are environmentally benign, biocompatible, and extremely stable, iron nanoparticles made from them can be used in a variety of applications (Makarov et al., 2014; Yadi et al., 2018). The plant biomass acts as a reducing agent as well as a support material during the nanoparticles' template-assisted synthesis (Herlekar et al., 2014); Additionally, they are inexpensive, sustainable, renewable, readily removed, and may help in the production of nanoparticles (Zhou et al., 2011; Herlekar et al., 2014).

Over the past twenty years, there has been a significant surge in interest in the biosynthesis of metallic nanoparticles as a result of the increasing need to create safe, dependable, biocompatible, benign, and environmentally friendly procedures for material creation (Thakkar et al., 2010; Akhtar et al., 2013). Numerous techniques utilizing biological organisms, including viruses, fungi, bacteria, yeast, and plants, have been developed and successfully used to manufacture nanoparticles (Ildiz et al., 2017; Wani et al., 2023). Because it is ecologically beneficial, plant extract-directed synthesis has been regarded as one of the most dependable and promising techniques for creating NPs (Demirbas et al., 2016; Cuong et al., 2022).

Plant extracts contain active ingredients called flavonoids, polyphenols, phenolic acids, and terpenoids that function as stabilizing and reducing agents during the formation of nanoparticles. It has been determined that phenols are potent antioxidants with significant antioxidant activity. The leaves of *A. prunifolia* are abundant in flavonoids, phenolic acids, and anthocyanins, among other phenolic components (Szopa et al., 2017).

Anthocyanins are the most common kind of flavonoid found in *A. prunifolia* leaves (Kähkönen and Heinonen., 2003; Reddy et al., 2014), there is abundant evidence of their antimicrobial (Tkáčiková et al., 2013; Chen et al., 2014) anti-inflammatory, (Youdim et al., 2000; Reddy et al.,

2014) antitumorogenic, (Zhang et al., 2000) antiobesity (Norberto et al., 2013) and neuroprotective effects (Andres-Lacueva et al., 2005).

In spite of significant progress in nanoparticle production and their utilization as antifungals, there remains a pressing need for environmentally sustainable methods that can effectively combat fungal pathogens. Our study focuses on the synthesis of AgNPs and FeNPs derived from *A. prunifolia* leaves, assessing their antifungal efficacy against major fungal strains such as *Aspergillus fumigatus*, *Rhizoctonia solani* Ag4 HgII, and *Aspergillus flavus*. This research not only advances nanoparticle synthesis but also explores the potential of *A. prunifolia* leaf-based nanoparticles in combating fungal pathogens.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

The *A. prunifolia* plant was obtained from the Department of Biology, Faculty of Science, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye. Experimental chemicals were obtained from Sigma Aldrich Chemical Co, USA. Fungal pathogens (*A. fumigatus*, *R. solani* Ag4 HgII, and *A. flavus*) were acquired from the Department of Microbiology, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Türkiye.

### 2.2. Preparation of Leaf Extract

Freshly harvested leaves were utilized to prepare the *A. prunifolia* leaf extract. Initially, the leaves were surface cleaned with running tap water, then treated with Milli-Q water, and then let dry in the shade for five days in order to remove any remaining moisture. Subsequently, using a kitchen blender, a fine powder was obtained. After weighing and adding the 10 g of leaf powder to 100 ml of Milli-Q water, the mixture was boiled for 30 minutes at 60°C. After that, the extracts were run through Whatman No. 1 filter paper and left to settle at room temperature in preparation for additional research.

### 2.3. Synthesis of Silver Nanoparticles

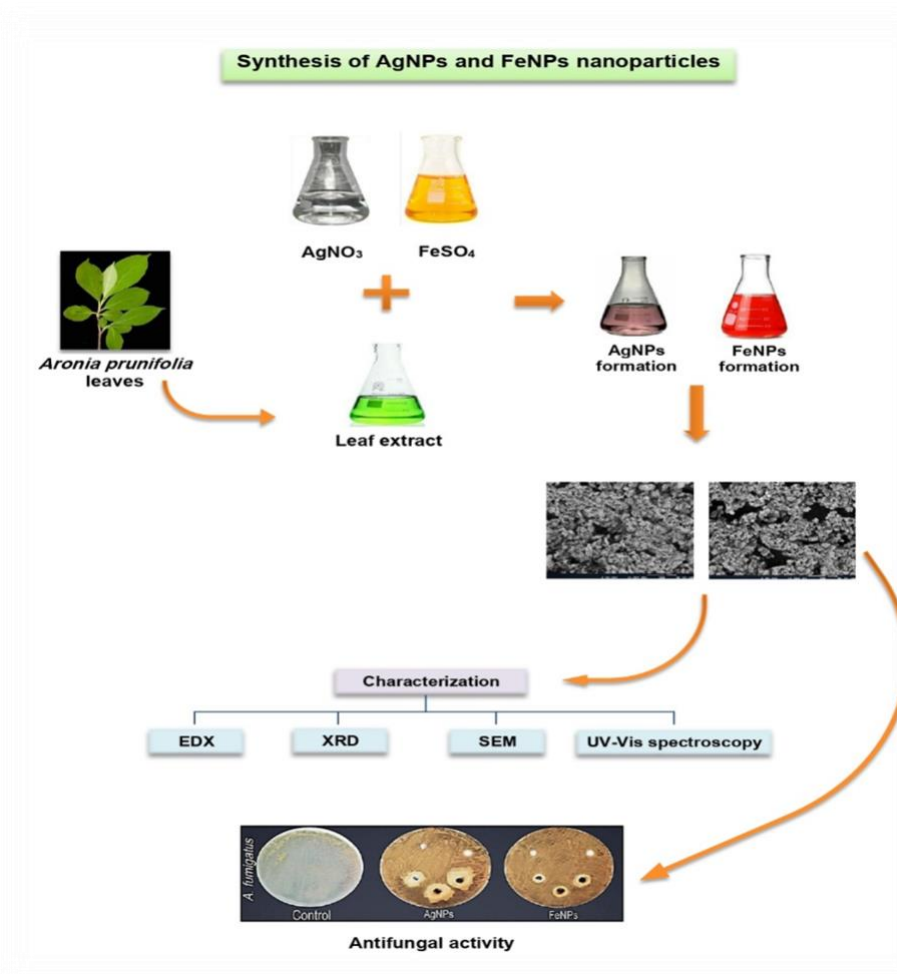
In order to synthesize AgNPs, a 100 ml Erlenmeyer flask containing 50 ml of 1 mM AgNO<sub>3</sub> solution was first created. Next, using a magnetic stirrer, 10 ml of *A. prunifolia*'s aqueous extract was added and properly stirred. *A. prunifolia* leaf extract was not used in the control setup. The two flasks were kept at 37°C in a dark environment to prevent silver nitrate from being photoinactivated. This

was similar to the approach used by Saxena et al. (2012), who also employed a similar synthesis technique.

After five minutes of stirring, the mixture was allowed to cool to room temperature. The creation of AgNPs is confirmed by the emergence of the characteristic yellow (Figure 2). Following that, the colloid solution was put into an amber container and kept at room temperature. After centrifuging the collected AgNPs for 20 minutes at 10,000 rpm, the pellet was redispersed in deionized water to further purify them.

## 2.4. Iron Oxide Nanoparticle Synthesis

A ferrous sulfate solution,  $\text{FeSO}_4$ , was created using deionized water. 1mM of Ferrous sulphate was prepared using 100 ml of deionized water. 100 ml of plant extract was mixed into this precursor solution. After adding 10 ml of *A. prunifolia* leaf dropwise to the solution mixture while stirring constantly, the brown hue that resulted verified the creation of  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nanoparticles (Figure 3). For two hours, the mixture was agitated at  $55^\circ\text{C}$ .



**Figure 1.** Workflow for green synthesis of nanoparticles using plant leaf extract.

Following that, the particle was dried in a hot air oven, and the supernatant was discarded. A brownish-black powder was obtained and kept in sterile bottles for further investigation (Madhavi et al., 2013). Figure 1 shows the steps for preparing the nanoparticles.

## 2.5. Characterization

The nanoparticles underwent characterization at the Ondokuz Mayıs University Black Sea Advanced Technology Research and Application Center, Samsun, Türkiye. The Thermo Evolution 220 UV-Visible Spectrophotometer was utilized to explore the wavelength range of 200–900 nm, confirming the presence of nanoparticles. X-ray diffraction (XRD) patterns of nanoparticles were obtained using a RIGAKU SMART LAB diffractometer, operating at 40 kV and 30 mA with  $\text{CuK}\alpha$  radiation. This method, employing zero background sample holders and scanning at  $2\theta$  from  $0^\circ$  to  $80^\circ$  at room temperature, provided insights into the crystalline structure.

Morphological characterization was conducted at the Chemical Analysis Lab (CA), Baghdad, Iraq, using a JEOL JSM-7001F Schottky Emission Scanning Electron Microscope (SEM), which was crucial in revealing the size and shape of the synthesized nanoparticles.

## 2.6. Antifungal Assay

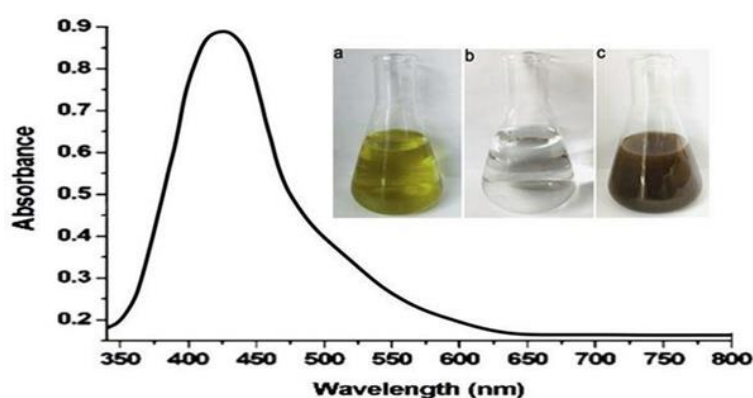
The concentration-dependent antifungal activity of the synthesized AgNPs and FeNPs nanoparticles was assessed using the well diffusion method. For the purpose of the study, the fungal strains were cultured in potato dextrose broth (PDB) for 72 hours. Using a spreader, 100  $\mu\text{L}$  of culture (containing  $10^4$  cells  $\text{ml}^{-1}$ ) was placed on potato dextrose agar (PDA) substrate to prepare the microorganism.

A total of 50  $\mu\text{L}$  of Ag NP and  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{NP}$  (10, 20, and 30  $\mu\text{g}/\text{ml}$ ) suspension was placed into the center of the well with 6 mm of dia. For the antifungal test, 70% ethanol alcohol and distilled water were utilized as positive and negative controls. The petriplates were incubated at  $25^\circ\text{C}$  for 72 h in an incubator, during which activity was evidenced by the presence of a zone of inhibition (mm) surrounding the well. Every test was conducted three times, and the results presented below are the averages of those three trials (Jayaseelan et al., 2012). Data on mean zones of inhibition were analyzed using OriginPro 2024. Descriptive statistics were reported as mean  $\pm$  SEM. Statistical significance ( $p < 0.05$ ) was determined via one-way ANOVA and Tukey's post hoc test.

### 3. Findings and Discussion

#### 3.1. Nanoparticle Characterization

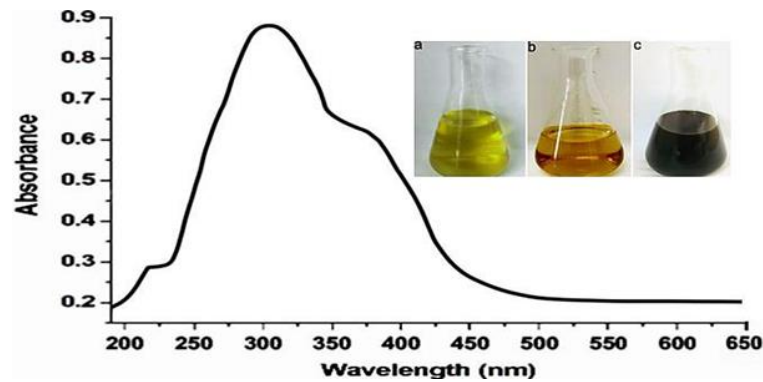
After 48 hours, an aqueous solution's color changed from green to thick brown, indicating that the silver ions in contact with the leaf extracts had reduced into silver particles. The pale yellow color of Ag nanoparticles intensified with an increase in plant extract content (Figure 2). In an aqueous solution, Ag nanoparticles were previously observed to appear yellowish (Perera et al., 2013). An absorbance spectra peaking at around 425 nm in Figure 2 indicates the production of Ag nanoparticles (Ahmad et al., 2003). Ag atom surface plasmon oscillations are excited, which results in the color and absorbance spectra at 425 nm (Twu et al, 2008).



**Figure 2.** Spectrum of UV-Vis absorption for silver nanoparticles. (a) *A. prunifolia* leaves extract without AgNO<sub>3</sub> (b) Silver nitrate solution (c) 1mM AgNO<sub>3</sub> with *A. prunifolia* leaves extract.

The Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles Figure 3 varied in color from light brown to dark brown and finally to black with an increased concentration of plant extract. As a characteristic of iron oxide nanoparticles, the UV-Vis in Figure 3 indicated that the material became excited at 300 nm, confirming the creation of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>. Iron oxide peaks are often observed between 300 and 350 nm, a finding that was further supported by Kiwumulo et al. (2022). This also relies on the phytochemicals that are employed in the production of green-derived iron oxide nanoparticles as reducing agents. Iron nanoparticles are known to absorb a certain amount of UV light, which is brought on by electrons moving from the valence band to the conduction band.

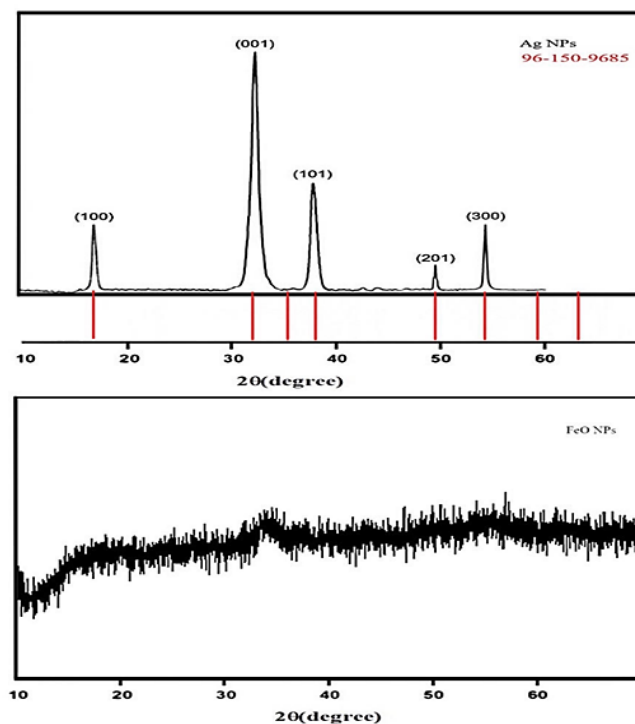




**Figure 3.** UV- Vis absorption spectrum of iron oxide. (a) *A. prunifolia* leaves extract without  $\text{FeSO}_4$  (b) Ferrous sulphate solution (c) 1mM  $\text{FeSO}_4$  with *A. prunifolia* leaves extract.

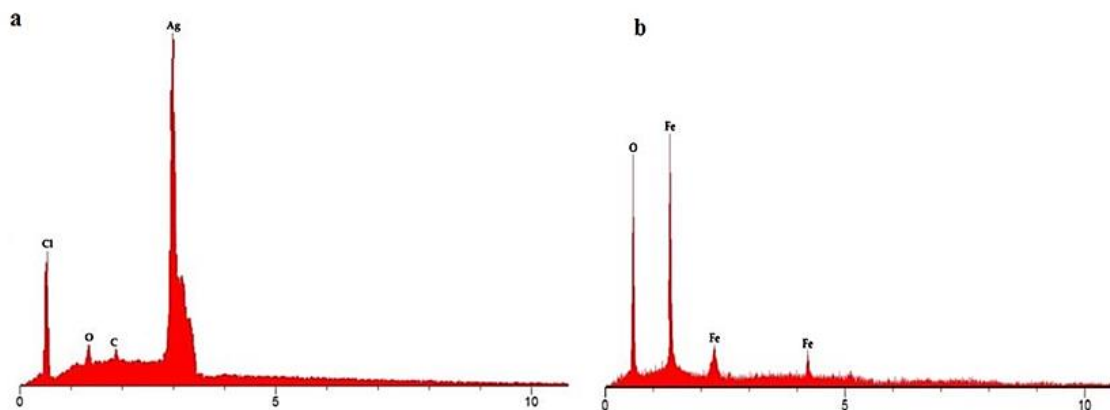
Figure 4, illustrates the X-ray diffraction patterns of the synthesized AgNPs. The distinctive peaks observed correspond to the trigonal (hexagonal axis) crystal structure of AgNPs. Specifically, the (011) peak is identified at  $2\theta = 38.16^\circ$ , and the (300) peak is positioned at  $64.5^\circ$ . These peak positions are consistent with the crystallographic information found in the PDF card number 96-150-9685. The presence and location of these peaks provide valuable insights into the crystalline structure of the synthesized silver nanoparticles, further supporting the characterization of the material.

The absence of distinct peaks in the X-ray diffraction patterns for the iron nanoparticles suggests that a crystalline form of iron particles was not formed under the conditions of the study. The absence of crystallinity in the FeONPs could be attributed to factors such as synthesis conditions, size effects, or surface modifications that prevented the formation of a crystalline structure.



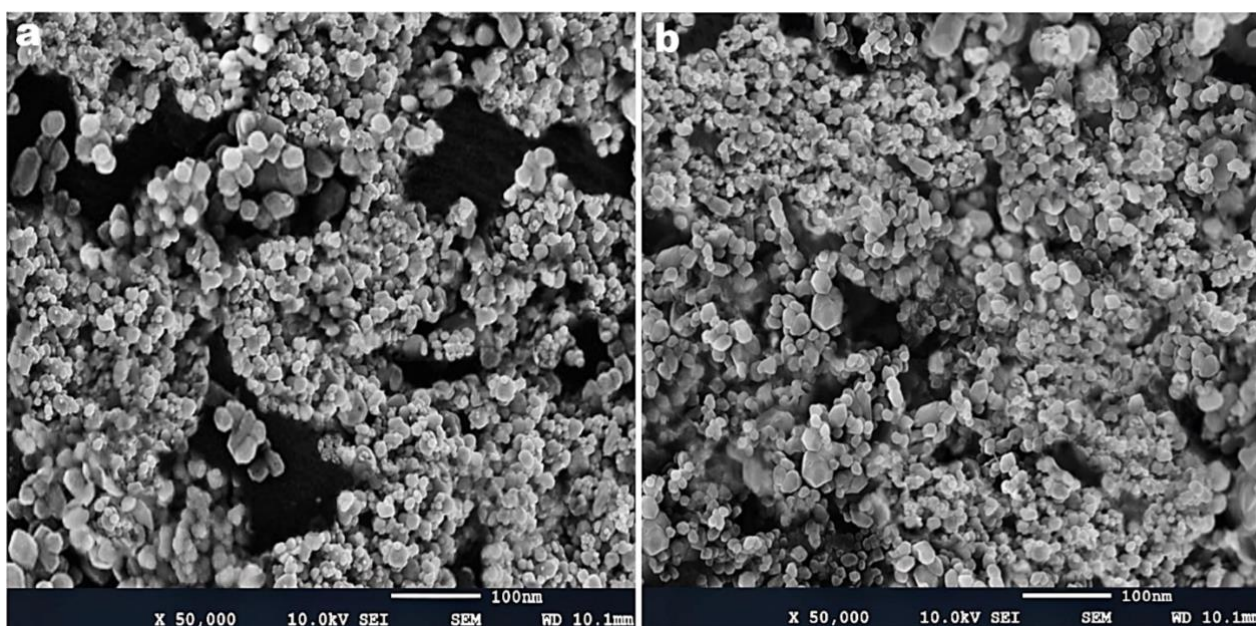
**Figure 4.** X-ray diffraction (XRD) pattern of synthesized: (a) silver (b) iron oxide nanoparticles from leaf extract of *A. prunifolia*.

From the EDX spectrum, it was understood that *A. prunifolia* leaf extract with  $\text{AgNO}_3$  had a recorded weight of 74.25% Ag nanoparticle (Figure 5a). However, the EDX study presented in Figure 5b revealed that the iron and oxygen percentages on the surface of iron oxide nanoparticles were 75.9% and 24.1%, respectively. Only the peaks for the Fe and O atoms were visible in the EDX data, confirming that there were no contaminants present when the required material was being prepared.



**Figure 5.** Energy dispersive X-ray spectroscopy analysis of (a) silver (b) iron oxide nanoparticles.

The produced silver nanoparticles were tetragons, pentagons, and hexagons with sizes ranging from 15 to 50 nm, according to SEM examination (Figure 6a) (Rajakumar and Rahuman, 2011). FeNPs Figure 6b's SEM images were primarily spherical as well, with an average size of 16 nm and a range of 16 to 60 nm (Ankamwar et al., 2010).



**Figure 6.** (a) Silver nanoparticles made from an extract from *A. prunifolia* leaves are seen under a scanning electron microscope. (b) Iron oxide nanoparticles under a microscope.

### 3.2. Biosynthesised Nanoparticles Antimicrobial Properties

Using the well diffusion technique, the antibacterial activity of biologically biosynthesized AgNPs and FeNPs against a variety of pathogenic fungi was assessed. *A. fumigatus*, *R. solani* Ag<sub>4</sub>HgII, and *A. flavus* were effectively inhibited by AgNPs, as shown in Table 1. The inhibitory activity of Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>NPs was manifested against the same fungi in Table 2. In the current investigation, an extract of *A. prunifolia* leaves was used to produce the iron oxide and silver nanoparticles. The Aronia plant is a significant source of terpenoids, flavonoids, polyphenols, and phenolic acids, which are important components of plant extracts and serve as stabilizing and reducing agents during the synthesis of NPs. In the process of creating NPs, leaf extract serves two purposes: first, it converts metallic salts into NPs; second, it stabilizes the NPs by preventing them from aggregating (Kuppusamy et al., 2016).

The findings show that the various concentrations of iron oxide and silver nanoparticles utilized in this investigation inhibited the radial development and spore germination of every tested fungal pathogen (Figure 7). According to the results of our investigation, the maximum concentration proved to be more beneficial than the lowest (Wani et al., 2012). The inhibitory effects of AgNPs and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles against *A. fumigatus*, *R. solani*, and *A. flavus* have been documented in a number of investigations, which supports our findings. (Ankanna and Savithamma, 2011; Krishnaraj et al., 2012; Balashanmugam et al., 2016; Saqib et al., 2022).

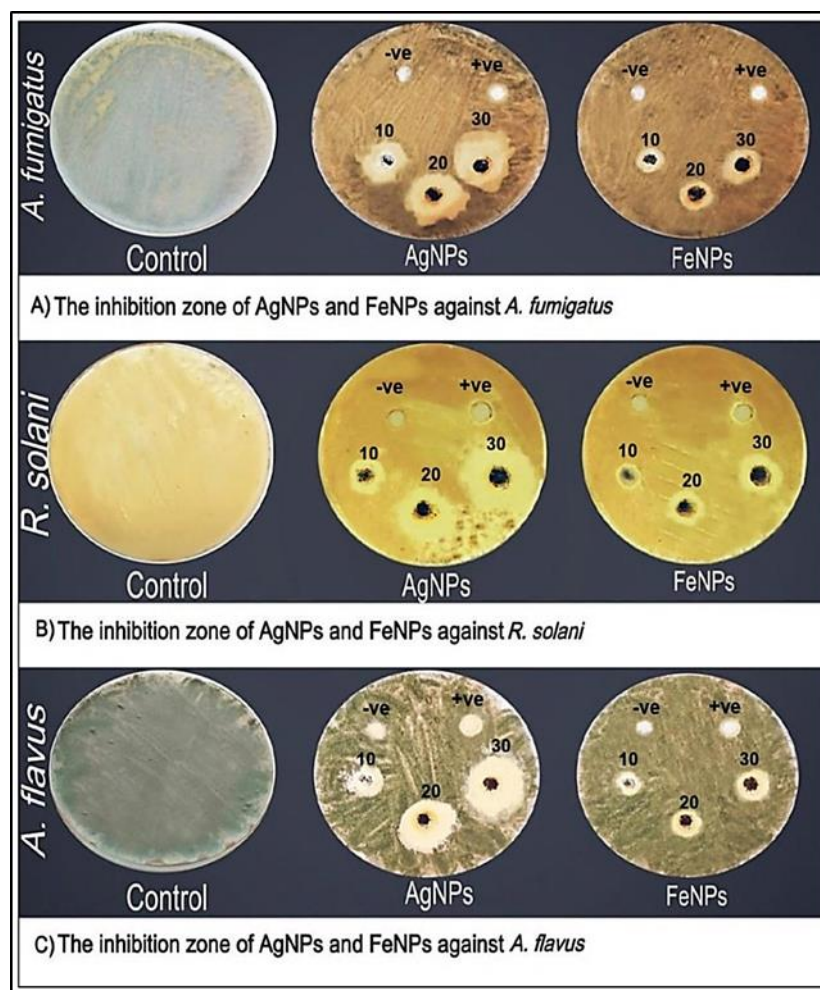
Because of their small size and high area-to-volume ratio, nanoparticles exhibit important changes in characteristics from bulk forms of the same material (Issa et al., 2013; Khan et al., 2019). These NPs are utilized in pharmaceutical goods, medical diagnostic imaging, and therapy regimens because of their distinct physiochemical and biological characteristics (Khan et al., 2019). When exposed to 10 to 30 µg/mL of biosynthesized NPs, the proliferation of all species was reduced by the antifungal activity of AgNPs and FeNPs.

Fungal growth inhibition often increases with increasing NP concentration. At 30 µg/ml, the growth of the fungus was significantly inhibited. Elevated NP concentrations in solution may have the ability to adhere to and saturate fungal hyphae, hence causing disruption of the fungal cells (Dawoud et al., 2021). In our investigation, AgNPs have a greater inhibitory capacity than FeNPs. Ag<sup>+</sup> is responsible for this inhibitory action, which mainly impacts the activity of membrane-associated enzymes like those in the respiratory chain. Ag<sup>+</sup> has also been shown to impair DNA replication, which may impact the production of some microbial proteins and enzymes. (Morozova, 2021).

For field applications, further research is required to confirm AgNPs' antifungal efficacy. Additionally, AgNPs can interact with substrates by competitive inhibition, which renders the enzymes inactive and stops them from producing the products needed for cell function. The

concentration of fungal spores and nanoparticles determines how much inhibition occurs. Iron oxide NP has demonstrated potential antibacterial action against a number of human diseases, according to a related study (Abdeen et al., 2013). (Pulit et al., 2013) investigated the antifungal activity of green-produced silver nanoparticles against *Aspergillus niger* and *Cladosporium cladosporioides* and found that these NPs exhibit potent biocidal effects even at low concentrations. (Nehra et al., 2018) Described how iron oxide nanoparticles inhibited the growth of *Fusarium solani*, *Aspergillus niger*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, and *Candida albicans*. Additionally, they mentioned that iron oxide nanoparticles have the potential to be employed as antifungal agents against a variety of fungal plant infections and that they might be used as efficient antimicrobial agents.

Iron is a potent reducing agent that causes lipopolysaccharides and membrane proteins' functional groups to break down. Additionally, iron nanoparticles oxidize intracellular oxygen, which results in oxidative damage through the Fenton reaction. These nanoparticles cause further harm and cell death by penetrating through damaged membranes (Lee et al., 2008; Cheeseman et al., 2020).



**Figure 7.** Photographs of antifungal test against *A. fumigatus*, *R. solani* Ag4HgII, and *A. flavus* (agar-well diffusion method) for AgNPs and FeNPs. Concentrations of AgNPs and FeNPs used are 10, 20, and 30 µg/ml. +ve and -ve positive and negative control.

**Table 1.** Antifungal activity of silver nanoparticles synthesized from leaf extract of *A. prunifolia* at 10, 20, and 30 µg/ml (Each value is an average of three replications).

Pathogenic fungi	Inhibition zone (mm diameter)		
	10 µg/ml	20 µg/ml	30 µg/ml
<i>Aspergillus fumigatus</i>	14.3±0.3	28.0±0.5	33.1±0.5
<i>Rhizoctonia solani</i>	12.7±0.6	30.0±0.3	35.0±0.7
<i>Aspergillus flavus</i>	12.5±0.3	32.5±0.7	34.1±0.4

**Note:** Values of Mean Zones of Inhibition are expressed as Mean ± SEM.

**Table 2.** Antifungal activity of iron oxide nanoparticles synthesized from leaf extract of *A. prunifolia* 10, 20, and 30 µg/ml (Each value is an average of three replications).

Pathogenic fungi	Inhibition zone (mm diameter)		
	10 µg/ml	20 µg/ml	30 µg/ml
<i>Aspergillus fumigatus</i>	9.3±0.8	12.1±0.5	15.0±0.9
<i>Rhizoctonia solani</i>	7.1±0.8	14.0±0.8	17.1±0.5
<i>Aspergillus flavus</i>	9.1±0.3	15.4±1.0	14.0±0.5

**Note:** Values of Mean Zones of Inhibition are expressed as Mean ± SEM.

#### 4. Conclusions and Recommendations

In this work, we have successfully characterized and synthesized silver and iron oxide nanoparticles utilizing *A. prunifolia* leaf extract as a dual-function reducing and stabilizing agent. The antimicrobial efficacy of the resulting nanoparticles was systematically assessed against various pathogenic fungi, namely *A. fumigatus*, *R. solani* Ag4 HgII, and *A. flavus*. Both AgNPs and FeNPs exhibited discernible inhibitory effects on spore germination and radial growth of the tested fungal strains. The inhibitory potency demonstrated a concentration-dependent response, with AgNPs manifesting superior effectiveness to FeNPs. Our study provides substantive evidence regarding the efficacy of *A. prunifolia* leaf extract in the green synthesis of silver and iron oxide nanoparticles, thereby accentuating their viability as antimicrobial agents against fungal pathogens. However, it is imperative to acknowledge the need for further research to elucidate and validate their safety and efficacy profiles, ensuring a comprehensive understanding of their practical applications across diverse academic and industrial domains.

#### Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

## Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Abdeen, S., Isaac, R. R., Geo, S., Sornalekshmi, S., Rose, A., & Praseetha, P. K. (2013). Evaluation of Antimicrobial Activity of Biosynthesized Iron and Silver Nanoparticles Using the Fungi *Fusarium Oxysporum* and *Actinomyces* sp. on Human Pathogens. *Nano Biomedicine & Engineering*, 5(1).
- Abou El-Nour, K. M., Eftaiha, A. A., Al-Warthan, A., & Ammar, R. A. (2010). Synthesis and applications of silver nanoparticles. *Arabian journal of chemistry*, 3(3), 135-140.
- Ahmad, A., Mukherjee, P., Senapati, S., Mandal, D., Khan, M. I., Kumar, R., & Sastry, M. (2003). Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles using the fungus *Fusarium oxysporum*. *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*, 28(4), 313-318.
- Akhtar, M. S., Panwar, J., & Yun, Y. S. (2013). Biogenic synthesis of metallic nanoparticles by plant extracts. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 1(6), 591-602.
- Al-Otibi, F., Al-Ahaidib, R. A., Alharbi, R. I., Al-Otaibi, R. M., & Albasher, G. (2020). Antimicrobial potential of biosynthesized silver nanoparticles by *Aaronsohnia factorovskiyi* extract. *Molecules*, 26(1), 130.
- Andres-Lacueva, C., Shukitt-Hale, B., Galli, R. L., Jauregui, O., Lamuela-Raventos, R. M., & Joseph, J. A. (2005). Anthocyanins in aged blueberry-fed rats are found centrally and may enhance memory. *Nutritional neuroscience*, 8(2), 111-120.
- Ankamwar, B., Lai, T. C., Huang, J. H., Liu, R. S., Hsiao, M., Chen, C. H., & Hwu, Y. K. (2010). Biocompatibility of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles evaluated by in vitro cytotoxicity assays using normal, glia and breast cancer cells. *Nanotechnology*, 21(7), 075102.
- Ankanna, S., & Savithamma, N. (2011). Biological synthesis of silver nanoparticles by using stem of *Shorea tumbuggaia* Roxb. and its antimicrobial efficacy. *Asian J Pharm Clin Res*, 4(2), 137-141.
- Aseel, D. G., Behiry, S. I., & Abdelkhalek, A. (2023). Green and Cost-Effective Nanomaterials Synthesis from Desert Plants and Their Applications. In *Secondary Metabolites Based Green Synthesis of Nanomaterials and Their Applications* (pp. 327-357). Singapore: Springer Nature Singapore.
- Balashanmugam, P., Balakumaran, M. D., Murugan, R., Dhanapal, K., & Kalaichelvan, P. T. (2016). Phytochemical synthesis of silver nanoparticles, optimization and evaluation of in vitro antifungal activity against human and plant pathogens. *Microbiological Research*, 192, 52-64.
- Charbgoon, F., Ahmad, M. B., & Darroudi, M. (2017). Cerium oxide nanoparticles: green synthesis and biological applications. *International journal of nanomedicine*, 1401-1413.
- Cheeseman, S., Christofferson, A. J., Kariuki, R., Cozzolino, D., Daeneke, T., Crawford, R. J., ... & Elbourne, A. (2020). Antimicrobial metal nanomaterials: from passive to stimuli-activated applications. *Advanced Science*, 7(10), 1902913.
- Chen, L., Xin, X., Yuan, Q., Su, D., & Liu, W. (2014). Phytochemical properties and antioxidant capacities of various colored berries. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(2), 180-188.
- Cuong, H. N., Pansambal, S., Ghotekar, S., Oza, R., Hai, N. T. T., Viet, N. M., & Nguyen, V. H. (2022). New frontiers in the plant extract mediated biosynthesis of copper oxide (CuO) nanoparticles and their potential applications: A review. *Environmental Research*, 203, 111858.
- Dawoud, T. M., Yassin, M. A., El-Samawaty, A. R. M., & Elgorban, A. M. (2021). Silver nanoparticles synthesized by *Nigrospora oryzae* showed antifungal activity. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(3), 1847-1852.
- Demirbas, A., Welt, B. A., & Ocsoy, I. (2016). Biosynthesis of red cabbage extract directed Ag NPs and their effect on the loss of antioxidant activity. *Materials Letters*, 179, 20-23.



- Devatha, C. P., Thalla, A. K., & Katte, S. Y. (2016). Green synthesis of iron nanoparticles using different leaf extracts for treatment of domestic waste water. *Journal of cleaner production*, 139, 1425-1435.
- Dubas, S. T., Kumlangdudsana, P., & Potiyaraj, P. (2006). Layer-by-layer deposition of antimicrobial silver nanoparticles on textile fibers. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 289(1-3), 105-109.
- Faisal, N., & Kumar, K. (2017). Polymer and metal nanocomposites in biomedical applications. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 7(6), 2286-2294.
- Golipour, F., Habibipour, R., & Moradihaghgou, L. (2019). Investigating effects of superparamagnetic iron oxide nanoparticles on *Candida albicans* biofilm formation. *Medical Laboratory Journal*, 13(6), 44-50.
- Gong, J., & Lin, X. (2003). Facilitated electron transfer of hemoglobin embedded in nanosized Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> matrix based on paraffin impregnated graphite electrode and electrochemical catalysis for trichloroacetic acid. *Microchemical journal*, 75(1), 51-57.
- Goswami, M., Baruah, D., & Das, A. M. (2018). Green synthesis of silver nanoparticles supported on cellulose and their catalytic application in the scavenging of organic dyes. *New Journal of Chemistry*, 42(13), 10868-10878.
- Hai, N. D., Dat, N. M., Thinh, D. B., Nam, N. T. H., Dat, N. T., Phong, M. T., & Hieu, N. H. (2022). Phytosynthesis of silver nanoparticles using *Mangifera indica* leaves extract at room temperature: Formation mechanism, catalytic reduction, colorimetric sensing, and antimicrobial activity. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 220, 112974.
- Herlekar, M., Barve, S., & Kumar, R. (2014). Plant-mediated green synthesis of iron nanoparticles. *Journal of Nanoparticles*, 2014.
- Ildiz, N., Baldemir, A., Altinkaynak, C., Özdemir, N., Yilmaz, V., & Ocsoy, I. (2017). Self assembled snowball-like hybrid nanostructures comprising *Viburnum opulus* L. extract and metal ions for antimicrobial and catalytic applications. *Enzyme and Microbial Technology*, 102, 60-66.
- Issa, B., Obaidat, I. M., Albiss, B. A., & Haik, Y. (2013). Magnetic nanoparticles: surface effects and properties related to biomedicine applications. *International journal of molecular sciences*, 14(11), 21266-21305.
- Iv, M., Telischak, N., Feng, D., Holdsworth, S. J., Yeom, K. W., & Daldrup-Link, H. E. (2015). Clinical applications of iron oxide nanoparticles for magnetic resonance imaging of brain tumors. *Nanomedicine*, 10(6), 993-1018.
- Javed, B., Ikram, M., Farooq, F., Sultana, T., Mashwani, Z. U. R., & Raja, N. I. (2021). Biogenesis of silver nanoparticles to treat cancer, diabetes, and microbial infections: A mechanistic overview. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105, 2261-2275.
- Jayaseelan, C., Rahuman, A. A., Kirthi, A. V., Marimuthu, S., Santhoshkumar, T., Bagavan, A., ... & Rao, K. B. (2012). Novel microbial route to synthesize ZnO nanoparticles using *Aeromonas hydrophila* and their activity against pathogenic bacteria and fungi. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 90, 78-84.
- Kähkönen, M. P., & Heinonen, M. (2003). Antioxidant activity of anthocyanins and their aglycons. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(3), 628-633.
- Khalid, M., & El-Sawy, H. S. (2017). Polymeric nanoparticles: Promising platform for drug delivery. *International journal of pharmaceuticals*, 528(1-2), 675-691.
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I. (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian journal of chemistry*, 12(7), 908-931.
- Khan, M. R., & Rizvi, T. F. (2014). Nanotechnology: scope and application in plant disease management. *Plant Pathol J*, 13(3), 214-231.
- Khlebtsov, N., & Dykman, L. (2011). Biodistribution and toxicity of engineered gold nanoparticles: a review of in vitro and in vivo studies. *Chemical Society Reviews*, 40(3), 1647-1671.
- Kisimba, K., Krishnan, A., Faya, M., Byanga, K., Kasumbwe, K., Vijayakumar, K., & Prasad, R. (2023). Synthesis of metallic nanoparticles based on green chemistry and their medical biochemical applications: synthesis of metallic nanoparticles. *J Renew Mater*, 11(6), 2575-2591.
- Kiwumulo, H. F., Muwonge, H., Ibingira, C., Lubwama, M., Kirabira, J. B., & Ssekitoleko, R. T. (2022). Green synthesis and characterization of iron-oxide nanoparticles using *Moringa oleifera*: a potential protocol for use in low and middle income countries. *BMC Research Notes*, 15(1), 1-8.
- Krishnaraj, C., Ramachandran, R., Mohan, K., & Kalaichelvan, P. T. (2012). Optimization for rapid synthesis of silver nanoparticles and its effect on phytopathogenic fungi. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 93, 95-99.

- Kuppusamy, P., Yusoff, M. M., Maniam, G. P., & Govindan, N. (2016). Biosynthesis of metallic nanoparticles using plant derivatives and their new avenues in pharmacological applications—An updated report. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 24(4), 473-484.
- Lee, C., Kim, J. Y., Lee, W. I., Nelson, K. L., Yoon, J., & Sedlak, D. L. (2008). Bactericidal effect of zero-valent iron nanoparticles on *Escherichia coli*. *Environmental science & technology*, 42(13), 4927-4933.
- Madhavi, V., Prasad, T. N. V. K. V., Reddy, A. V. B., Reddy, B. R., & Madhavi, G. (2013). Application of phyto-genic zerovalent iron nanoparticles in the adsorption of hexavalent chromium. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 116, 17-25.
- Mahmoud, A. A., El-Feky, G. S., Kamel, R., & Awad, G. E. (2011). Chitosan/sulfobutylether- $\beta$ -cyclodextrin nanoparticles as a potential approach for ocular drug delivery. *International journal of pharmaceutics*, 413(1-2), 229-236.
- Makarov, V. V., Love, A. J., Sinityna, O. V., Makarova, S. S., Yaminsky, I. V., Taliansky, M. E., & Kalinina, N. O. (2014). "Green" nanotechnologies: synthesis of metal nanoparticles using plants. *Acta Naturae (англоязычная версия)*, 6(1 (20)), 35-44.
- Mie, R., Samsudin, M. W., Din, L. B., Ahmad, A., Ibrahim, N., & Adnan, S. N. A. (2014). Synthesis of silver nanoparticles with antibacterial activity using the lichen *Parmotrema praesorediosum*. *International journal of nanomedicine*, 121-127.
- Mira, A. K., Yousef, A. S., & Abdullah, A. (2015). Biosynthesis of silver nanoparticles by cyanobacterium *Gloeocapsa* sp. *IJERSTE*, 4(9), 60-73.
- Mohammadlou, M., Maghsoudi, H., & Jafarizadeh-Malmiri, H. J. I. F. R. J. (2016). A review on green silver nanoparticles based on plants: Synthesis, potential applications and eco-friendly approach. *International Food Research Journal*, 23(2), 446.
- Morozova, O. V. (2021). Silver nanostructures: limited sensitivity of detection, toxicity and anti-inflammation effects. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(18), 9928.
- Nehra, P., Chauhan, R. P., Garg, N., & Verma, K. (2018). Antibacterial and antifungal activity of chitosan coated iron oxide nanoparticles. *British journal of biomedical science*, 75(1), 13-18.
- Norberto, S., Silva, S., Meireles, M., Faria, A., Pintado, M., & Calhau, C. (2013). Blueberry anthocyanins in health promotion: A metabolic overview. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1518-1528.
- Okaiyeto, K., Hoppe, H., & Okoh, A. I. (2021). Plant-based synthesis of silver nanoparticles using aqueous leaf extract of *Salvia officinalis*: characterization and its antiplasmodial activity. *Journal of Cluster Science*, 32, 101-109.
- Perera, S., Bhushan, B., Bandara, R., Rajapakse, G., Rajapakse, S., & Bandara, C. (2013). Morphological, antimicrobial, durability, and physical properties of untreated and treated textiles using silver-nanoparticles. *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, 436, 975-989.
- Pulit, J., Banach, M., Szczygłowska, R., & Bryk, M. (2013). Nanosilver against fungi. Silver nanoparticles as an effective biocidal factor. *Acta Biochimica Polonica*, 60(4).
- Raj, S., Mali, S. C., & Trivedi, R. (2018). Green synthesis and characterization of silver nanoparticles using *Enicostemma axillare* (Lam.) leaf extract. *Biochemical and biophysical research communications*, 503(4), 2814-2819.
- Raj, S., Singh, H., Trivedi, R., & Soni, V. (2020). Biogenic synthesis of AgNPs employing *Terminalia arjuna* leaf extract and its efficacy towards catalytic degradation of organic dyes. *Scientific reports*, 10(1), 9616.
- Rajakumar, G., & Rahuman, A. A. (2011). Larvicidal activity of synthesized silver nanoparticles using *Eclipta prostrata* leaf extract against filariasis and malaria vectors. *Acta tropica*, 118(3), 196-203.
- Reddy, N. J., Vali, D. N., Rani, M., & Rani, S. S. (2014). Evaluation of antioxidant, antibacterial and cytotoxic effects of green synthesized silver nanoparticles by *Piper longum* fruit. *Materials Science and Engineering: C*, 34, 115-122.
- Sahu, M., Yadav, R., & Tiwari, S. (2023). Recent advances in nanotechnology. *Int J Nanomater Nanotechnol Nanomed*, 9(2), 015-023.
- Salam, H. A., Rajiv, P., Kamaraj, M., Jagadeeswaran, P., Gunalan, S., & Sivaraj, R. (2012). Plants: green route for nanoparticle synthesis. *Int Res J Biol Sci*, 1(5), 85-90.
- Saqib, S., Faryad, S., Afridi, M. I., Arshad, B., Younas, M., Naeem, M., ... & El-Abedin, T. K. Z. (2022). Bimetallic assembled silver nanoparticles impregnated in *Aspergillus fumigatus* extract damage the bacterial membrane surface and release cellular contents. *Coatings*, 12(10), 1505.
- Saxena, A., & Raj, S. (2021). Impact of lockdown during COVID-19 pandemic on the air quality of North Indian cities. *Urban Climate*, 35, 100754.



- Saxena, A., Tripathi, R. M., Zafar, F., & Singh, P. (2012). Green synthesis of silver nanoparticles using aqueous solution of *Ficus benghalensis* leaf extract and characterization of their antibacterial activity. *Materials letters*, 67(1), 91-94.
- Singh, A., Jain, D., Upadhyay, M. K., Khandelwal, N., & Verma, H. N. (2010). Green synthesis of silver nanoparticles using *Argemone mexicana* leaf extract and evaluation of their antimicrobial activities. *Dig J Nanomater Bios*, 5(2), 483-489.
- Singh, H., Raj, S., Kumar, D., Sharma, S., Bhatt, U., Kalaji, H. M., ... & Soni, V. (2021). Tolerance and decolorization potential of duckweed (*Lemna gibba*) to CI Basic Green 4. *Scientific Reports*, 11(1), 10889.
- Sivasankarapillai, V. S., Jose, J., Shanavas, M. S., Marathakam, A., Uddin, M. S., & Mathew, B. (2019). Silicon quantum dots: Promising theranostic probes for the future. *Current Drug Targets*, 20(12), 1255-1263.
- Stabryla, L. M., Moncure, P. J., Millstone, J. E., & Gilbertson, L. M. (2023). Particle-Driven Effects at the Bacteria Interface: A Nanosilver Investigation of Particle Shape and Dose Metric. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 15(33), 39027-39038.
- Stankic, S., Suman, S., Haque, F., & Vidic, J. (2016). Pure and multi metal oxide nanoparticles: synthesis, antibacterial and cytotoxic properties. *Journal of nanobiotechnology*, 14(1), 1-20.
- Sulaiman, G. M., Mohammad, A. A., Abdul-Wahed, H. E., & Ismail, M. M. (2013). Biosynthesis, antimicrobial and cytotoxic effects of silver nanoparticles using *Rosmarinus officinalis* extract. *Dig J Nanomater Biostruct*, 8(1), 273-280.
- Szopa, A., Kokotkiewicz, A., Kubica, P., Banaszczak, P., Wojtanowska-Krośniak, A., Krośniak, M., ... & Ekiert, H. (2017). Comparative analysis of different groups of phenolic compounds in fruit and leaf extracts of *Aronia* sp.: *A. melanocarpa*, *A. arbutifolia*, and *A. × prunifolia* and their antioxidant activities. *European Food Research and Technology*, 243, 1645-1657.
- Thakkar, K. N., Mhatre, S. S., & Parikh, R. Y. (2010). Biological synthesis of metallic nanoparticles. *Nanomedicine: nanotechnology, biology and medicine*, 6(2), 257-262.
- Tkáciková, L., Kšonžeková, P., Poráčová, J., Mariychuk, R., & Eliašová, A. (2013). Antimicrobial properties of anthocyanin extracts prepared from berries by ethanol and acetone extraction. *Acta Facult. Stud. Hum. Nat. Univ Prešovensis*, 62, 81-89.
- Twu, Y. K., Chen, Y. W., & Shih, C. M. (2008). Preparation of silver nanoparticles using chitosan suspensions. *Powder Technology*, 185(3), 251-257.
- Wani, A. H., Amin, M., Shahnaz, M., & Shah, M. A. (2012). Antimycotic activity of nanoparticles of MgO, FeO and ZnO on some pathogenic fungi. *International Journal of Manufacturing, Materials, and Mechanical Engineering (IJMMME)*, 2(4), 59-70.
- Wani, M. Y., Ganie, N. A., Dar, K. A., Dar, S. Q., Khan, A. H., Khan, N. A., ... & Banerjee, R. (2023). Nanotechnology future in food using carbohydrate macromolecules: A state-of-the-art review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124350.
- Yadi, M., Mostafavi, E., Saleh, B., Davaran, S., Aliyeva, I., Khalilov, R., ... & Milani, M. (2018). Current developments in green synthesis of metallic nanoparticles using plant extracts: a review. *Artificial cells, nanomedicine, and biotechnology*, 46(sup3), 336-343.
- Youdim, K. A., Martin, A., & Joseph, J. A. (2000). Incorporation of the elderberry anthocyanins by endothelial cells increases protection against oxidative stress. *Free Radical Biology and Medicine*, 29(1), 51-60.
- Zhang, Y., Vareed, S. K., & Nair, M. G. (2005). Human tumor cell growth inhibition by nontoxic anthocyanidins, the pigments in fruits and vegetables. *Life sciences*, 76(13), 1465-1472.
- Zhou, H., Fan, T., & Zhang, D. (2011). Biotemplated materials for sustainable energy and environment: current status and challenges. *ChemSusChem*, 4(10), 1344-1387.

## Optimization of Spray Characteristics of Full Cone Nozzles Used in Pesticide Application Using the Taguchi Method

Altuğ KARABEY<sup>1\*</sup>, Mehmet TANIŞ<sup>2</sup>

### Abstract

The present study aims to reduce the amount of pesticide that can be released into environment, soil, air, and water by minimizing the type of nozzle and the use of excess pesticides by making use of the Taguchi method. For this purpose, studies were carried out to determine the spray characteristics of the pesticide. The sodium fluorescein was used in the experiments. In this study, the effects of the nozzle-to-surface distance (spray height), spray pressure, nozzle orifice diameter, and nozzle position angle on the droplet diameter and flow characteristics were investigated using the Taguchi method. The mean diameter values were determined first. Then, the volumetric median diameter (VMD) was considered as performance parameter and  $L_9(3^4)$  orthogonal sequence was chosen as the experimental plan for four parameters that were determined. Calculating the VMD considered as the performance characteristics, optimum results were obtained using 6 bar spray pressure, 100 mm spray height, 30° nozzle position angle, and 1.10 mm nozzle orifice diameter. The VMD values were calculated using the image processing method and the effects of the parameters on the droplet diameter were interpreted using charts.

**Keywords:** Pesticide application, Spray optimization, Spray characteristics, Taguchi method.

## Pestisit Uygulamalarında Kullanılan İçi Dolu Konik Hüzmeli Memelerin Püskürtme Karakteristiklerinin Taguchi Metoduyla Optimizasyonu

### Öz

Bu çalışmada, Taguchi yöntemi kullanılarak minimum ilaç kalıntısını sağlayan meme tipini ve fazla ilaç kullanımını en aza indirerek çevreye, toprağa, havaya ve suya karışabilecek ilaç miktarının düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda bitkisel ilaçlamada püskürtme özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneysel çalışma yapılmıştır. Deneysel çalışmada sodyum fluorescein kullanılmıştır. Çalışmada püskürtme uygulamalarını değerlendirmek üzere dikey dizilmiş suya duyarlı kağıtlardan oluşan deney düzeneğinde, meme-yüzey arası mesafe (püskürtme yüksekliği), püskürtme basıncı, meme orifis çapı ve meme konum açısının damlacık çapı ve akım karakteristiklerine etkileri Taguchi yöntemi kullanılarak incelenmiştir. İlk aşamada ortalama çap değerleri belirlenmiştir. Hacimsel medyan çap (HMD) performans karakteristiği olarak dikkate alınmış ve belirlenen dört parametre için  $L_9(3^4)$  ortogonal dizisi deney planı olarak seçilmiştir. Performans karakteristiği dikkate alınarak HMD hesaplandığında optimum sonuçlar; 6 bar püskürtme basıncı 100 cm püskürtme yüksekliği, 30° meme konum açısı ve 1.10 mm meme orifis çapında elde edilmiştir. HMD değerleri görüntü işleme yöntemiyle hesaplanmış, parametrelerin damlacık çapı üzerindeki etkileri grafiklerle yorumlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Pestisit ilaçlama, Püskürtmenin optimizasyonu, Püskürtme karakteristikleri, Taguchi metodu.

<sup>1</sup>Van Yuzuncu Yıl University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Van, Turkey, [akarabey@yyu.edu.tr](mailto:akarabey@yyu.edu.tr)

<sup>2</sup>Van Yuzuncu Yıl University, Institute of Naturel and Applied Science, Department of Mechanical Engineering, Van, Turkey, [ogretmen1984@hotmail.com](mailto:ogretmen1984@hotmail.com)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 04.12.2023

Kabul/Accepted: 13.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## NOMENCLATURE

$d$	nozzle diameter	$n_r$	number of repetitions in confirmation experiment
$D_{10}$	arithmetic mean diameter	$N$	the total number of experiments
$D_{20}$	surface mean diameter	$P_s$	spraying pressure
$D_{30}$	volumetric mean diameter	$S/N$	signal to noise ratio
$D_{32}$	sauter mean diameter	$r_1$	droplet homogeneity
$D_{min}$	the smallest measured diameter value	$r_2$	droplet homogeneity coefficient
$D_{max}$	the largest measured diameter value	$WSP$	water sensitive paper
$D_{V0.5}, VMD$	volumetric median diameter	$X_i$	fixed effect of parameter level $i$ th experiment
$D_{N0.5}$	numerical median diameter	$Y_i$	performance value of the $i$ th experiment
$e_i$	random error	$Z_B, Z_K$	performance statistic
$F_\alpha$	F table value	$\mu$	overall mean performance value
$H$	spray height	$\alpha$	Nozzle angle
$H$	nozzle to surface distance (from the tip of the fin to the nozzle)	$\Omega (db)$	Decibel value of percentage subject to omega transformation
$m$	degrees of freedom used in the prediction of $Y_i$	$DF$	degree of freedom
$MSe$	mean square error	$Exp.$	experiment
$n$	number of repetitions done for an experimental combination	$rep$	repetition

## 1. Introduction

Modification of the production factors is a must in order to increase the efficiency in agricultural production. From this aspect, agricultural pesticides constitute the most important expense item. Thanks to their rapid effects on agricultural production, chemical pesticides sprayed in liquid form by using agricultural instruments that are called “sprayer” (sometimes atomizer) are widely used for eliminating the agricultural pests (Gunel & Ozturk, 2006; Sayinci et al., 2019).

When working with pulverizers, many factors affect the formation of the droplets, transportation of droplets to target, and adhesion of active substances on the surface. The factors influencing the performance of the chemical agent include structural characteristics including the nozzle type, the orifice size, spraying angle, position angle, spraying height, and the distance between nozzles, engineering parameters related with air velocity and direction for sprayer units with auxiliary airflow systems, application capacity, operational parameters related with application rate, spraying pressure, and pace of progression, the meteorological factors related with air temperature, air

humidity, wind velocity, and wind direction at the moment of pesticide application, plant characteristics related with plant height, leaf surface characteristics, and leaf surface index, physical characteristics related with viscosity, volume, and temperature of liquid being sprayed (Hoffmann & Salyani, 1996; Panneton et al., 2000; Zhu et al., 2002; Bayat & Bozdogan, 2005).

The strong interaction between these factors makes the application of pesticides difficult. Therefore, the application method should be analyzed carefully.

In their study, Cetin et al. (2019) compared the differences between the spray angle values determined both image processing and manually at 3 bar spray pressure and claimed that they achieved the results that are close the nominal angle values. Although there had no any nominal angle values for full cone nozzles. However, it was reported in their study that the spray angle increased with increasing orifice diameter.

In the study performed by Minov et al. (2014), the researchers determined the distribution uniformity of five different hydraulic nozzles (Albuz ATR orange and red, Teejet XR 11001, XR 11004, and AI 11004) with different operating characteristics using a patternator with 3 cm intervals and a slope of 5%. In that study, the spraying heights for different groups were set as 15 cm, 30 cm, and 50 cm, and the spray applications were carried out at 4, 6, and 8 bar pressure. The analyses have revealed that the boom height significantly influenced the spray pattern of the nozzles.

In a study performed by Višacki et al. (2016), volumetric distribution uniformity (CV%) of the standard, air-suction, and double-flow fan nozzles with standard nozzle orifice sizes of 120-04 were defined for different spraying heights (40, 50, and 60 cm) and operating pressures (200, 250, 300, 350, 400 and 450 kPa). Not only it was stated that the volumetric distribution improved as the spray height increased, but it was also determined that CV% tended to increase as the operating pressure increased in the air suction nozzle.

Bretthauer et al. (2011), evaluated the spraying solutions according to their droplet size, weed control capacity when sprayed using Turbo TeeJet nozzle, Turbo Drip Twin Fan nozzle, Air Induction Extended Range nozzle, Turbo TeeJet Induction nozzle, Turbo TwinJet nozzle, and Small Volume Sprayer Turbo nozzle. The results indicated that the droplet diameter varied according to the type of nozzle.

In their laboratory studies, Foque and Nuyttens (2011) tested the effects of air support and spray angle ( $-30^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ) on the spray deposition. The spray deposition was measured using a large droplet spray nozzle (Lechler ID 90 02 at 6,0 bar) and was subjected to visual assessment using a quantitative method and water-sensitive paper.

In their study, Castanet et al. (2013) presented the development stages of an optical technique aimed at simultaneously measuring the droplet size and velocity. This technique relied on shadow plotting associated with high-speed imaging. This method was used to investigate the effects of

droplets in a heated maxima above the Leidenfrost temperature (Leidenfrost effect). Image analysis involved detecting droplet outlines to measure their size and tracking droplet trajectories to determine their velocity. The study also presented different steps of image processing. The researchers stated that this method was employed to address problems specific to the effect of turbid, deformed, and overlapping droplets depending on the magnitude of their depth.

Sun et al. (2017) developed a measurement system to measure droplet sizes in the field. Droplet characteristics, including reflectance field, diameter, and volume, were determined using MATLAB image processing technology. Internal comparisons were conducted between the developed system and the oil disc method and the mean margins were found to be 6.03% for  $D_{V0.1}$ , 5.50% for  $D_{V0.5}$ , and 6.25% for  $D_{V0.9}$ .

In the present study, it was aimed to optimize the flow characteristics of effective droplet diameter by using the Taguchi method to reduce the amount of pesticide that will be released into the environment, soil, air, and water and to minimize the excessive use of chemical agents while struggling with plant pests. For this purpose, the parameters affecting the flow characteristic were determined to be nozzle diameter, distance between nozzle and target surface, spraying pressure, and spraying angle.

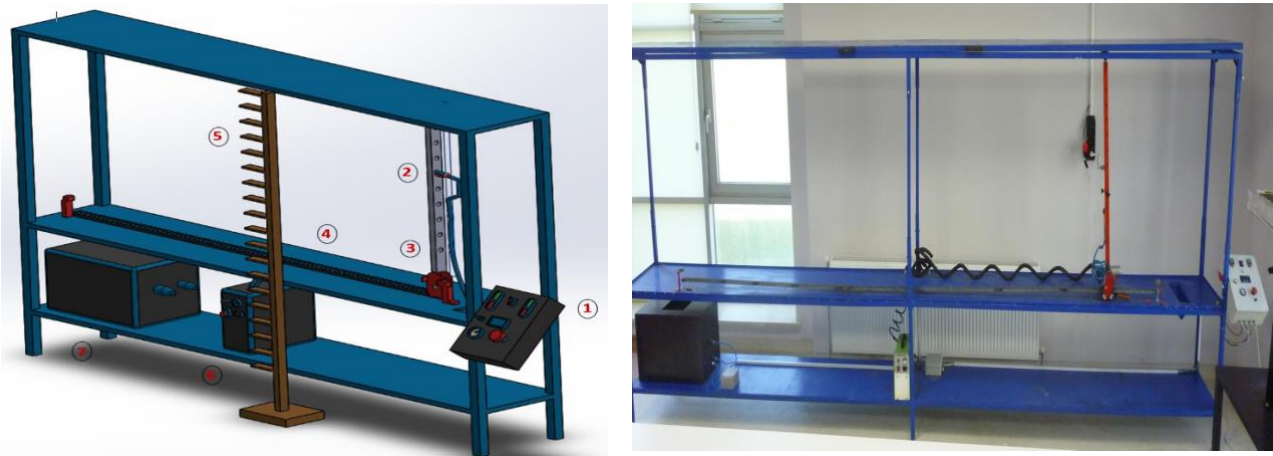
## 2. Materials and Methods

### 2.1. Experimental parameters and planning

In order to reach a correct result in experimental studies, it is necessary to make a correct experimental design, determine the parameters correctly and know exactly what to expect from the test result. Even if all these conditions are met, it may be necessary to perform a large number of the same sample or the same experiment in order to achieve an accurate and desired target.

The experimental setup used in experiments is illustrated in Figure 1. The experiments were conducted under controlled conditions and the effects of weather conditions were minimized. In the experimental system, the spraying ground was made of a 2 mm stainless steel sheet. The experimental setup has  $0.5 \times 5$  m dimensions and a height of 2 m. The target surface model was manufactured from wooden material and has a height of 220 cm. Fifteen water-sensitive papers (WSP,  $28 \times 38$  mm) were placed on the vertical plane of the model in a single row with 2 cm intervals. The sodium fluorescein was used in the experiments. The spraying rate was measured, and the experiments were carried out with a constant spraying rate of conveyer speed (1.2 m/s). Movement in the system was driven by a linear motion mechanism consisting of an electric motor and a reducer. Furthermore, a mechanical fixing device was placed on the movable mechanism to adjust the nozzle position angle. A tank

having the shape of rectangular prism was manufactured in order to store the fluid in the system. Homogeneous distribution in the tank was achieved with the help of a mixer. The pressure of the fluid was controlled by a regulator located at the pump outlet. Automation of the system was ensured by making use of fluid pressure, which was measured using a manometer. During the experiments, protective flexible sheaths were used in order to prevent any damage to the pipes conveying the fluid.



**Figure 1.** Experimental setup design

(1) Spraying Control Unit, (2) Nozzle, (3) Height and Angle Adjustment Mechanism for Nozzle, (4) Rack Gear, (5) Target Surface Model, (6) Pump, (7) Tank

Determination of optimum parameters with the Taguchi method is done as follows;

- The outcome variable is determined.
- Variable parameters (factors) that affect the result are determined.
- Levels of variable parameters are determined.
- Appropriate experimental design is selected.
- Experiments are carried out.
- Model evaluation is made based on the results.
- With variance analysis, the accuracy of the model is tested and the effect ratios of the parameters are determined.
- Optimum parameters and their values are determined. (Ozturk et al., 2023)



**Figure 2.** Fully conical jet nozzles.

**Table 1.** Parameters examined in the study and their values.

Parameters	1	2	3
A Spraying pressure, $P_s$ [bar]	6	8	10
B Spraying height, $H$ [mm]	70	85	100
C Nozzle angle, $\alpha$ [degree]	0	15	30
D Nozzle orifice diameter, $d$ [mm]	0.85	1.1	1.5

As can be seen, all parameters were represented with three different levels and, accordingly,  $L_9(3^4)$  orthogonal sequence given in Table 2 was chosen as the experiment plan (Phadke 1989).

**Table 2.** Parameters examined in the study and their values.

<i>Exp.</i>	Parameters			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>1</i>	1	1	1	1
<i>2</i>	1	2	2	2
<i>3</i>	1	3	3	3
<i>4</i>	2	1	2	3
<i>5</i>	2	2	3	1
<i>6</i>	2	3	1	2
<i>7</i>	3	1	3	2
<i>8</i>	3	2	1	3
<i>9</i>	3	3	2	1

Instead of carrying out  $3^4 = 81$  experiments with the full factorial design,  $L_9(3^4)$  experiment plan was implemented using Taguchi experiment design and 18 experiments were carried out by conditioning only 9 experiments. To observe the effects of disruptive and random factors in the

experiments, each experiment was repeated twice at different times. "Performance statistics" was chosen as the optimization criterion. Performance parameters of the droplet diameter were computed in order to analyze the effects of the parameters on optimization criteria. Droplet diameter was calculated by using the total atomization surface area, which was obtained using the image processing technique that was based on the software created as a result of special development. The results obtained showed that the general optimum conditions were found. "The smaller the better" performance statistics were used for the droplet diameter.

The full cone nozzles made in stainless steel, which are widely preferred in garden sprayers, were used in spray application. The nozzles having 0.85 mm, 1.1 mm, and 1.5 mm orifice diameters were selected for the experiments (Figure 2).

In this study, WSP samples were scanned, and droplet diameters and homogeneity values were determined by using the image processing method. The selected controllable parameters that were considered to have effect on flow characteristics and the results are shown in Table 1.

$$Z_B = -10 \text{Log} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right] \quad (1)$$

and developed for "the smaller the better" situation:

$$Z_K = -10 \text{Log} \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right] \quad (2)$$

are the two of the optimization criteria alternatives. Here,  $Z_B$  and  $Z_K$  represent the performance parameters, whereas  $n$  represents the number of repetitions performed in an experimental combination and  $Y_i$  represents the performance value of the experiment.

The experiment that corresponds to the optimum working conditions in the Taguchi method may not have been performed during the study. For similar cases, the following additive model can be used in order to estimate the performance value for the optimum conditions (Phadke 1983):

$$Y_i = \mu + X_i + e_i \quad (3)$$

Here,  $\mu$  refers to the general average of the performance parameter,  $X_i$  to the constant effect of the parameter-level combination, and  $e_i$  to the random error. Since the equation is an estimated point computed using the experimental data, the confidence interval must be calculated to determine if this value is significant. The confidence interval at a given error level can be calculated by making use of the following equation (Ross 1989):



$$Y_i \pm \sqrt{F_{\alpha;1,DF_{MSe}} \times MSe \times \left(\frac{1+m}{N} + \frac{1}{n_r}\right)} \quad (4)$$

Here, F refers to the Chart value,  $\alpha$  represents the error level,  $DF_{MSe}$  to the mean square error total degrees of freedom, m to the sum of degrees of freedom of parameters used in the estimation of optimum operating conditions, N to the total number of experiments, and  $n_i$  to the number of repetitions in the verification experiment. Provided that the experimental results are presented in percentage (%), before calculating the equations (3) and (4), the percentage values should be converted to omega values using the equation shown below. Then, the values of interest can be determined by inverse transformation by using the same equation (Taguchi 1987):

$$\Omega(db) = -10 \text{Log}\left(\frac{1}{p} - 1\right) \quad (5)$$

Here, W (db) represents the decibel value found by the omega conversion of the percentage value and p shows the percentage value of the product obtained experimentally.

## 2.2. Calculation of Droplet Diameter

Each of the WSP samples collected after the spray application was scanned at 600 dpi resolution (Marcal & Cunha 2008) as an image file (.jpg), which was then transferred to a computer. Depending on the area of the stains on the card surfaces, the characteristic droplet diameter was determined by the image processing method and ImageJ (version 1.38x, Wayne Rasband, National Institutes of Health, US) software was used in the analyses. The average grayness values (g) of WSP images were measured and the threshold levels were determined by using the equation  $t = 0.38g + 78.75$  (Sanches-Hermosilla & Medina, 2004). The stain images on the card surface were subjected to the shape analysis and a stain elimination process was performed using the method introduced by Sæbø and Wighus (2015). As a result of the analysis, depending on the stain areas, the diameter of stain ( $D_s$ ,  $\mu\text{m}$ ) was calculated by multiplying the determined equivalent diameter values by 42.3  $[(25.4 / 600) \times 1000]$  (Uremis et al., 2004). The diameter of spherical droplets ( $D_g$ ,  $\mu\text{m}$ ) was estimated by substituting the results in the equation  $D_g = 1.033 \cdot D_s^{0.879}$  (Franz, 1993). An image file taken from the WSP surface for droplet sampling is demonstrated in Figure 3.



**Figure 3.** WSP image of spray application

To determine the characteristic droplet diameters, a macro program was prepared in MS Excel and an analysis was carried out in a range of 20 diameter classes (Srivastava et al., 1993). The definitions related with characteristic droplet diameters and the formulas used (Nuyttens et al., 2007) are given in Table 3.

**Table 3.** Equations for characteristic droplet diameter

Arithmetic diameter	Surface avg. diameter	Volumetric avg. diameter	Sauter diameter	Homogeneity
$= \sum_{i=0}^n d_i/n$	$= \left( \sum_{i=0}^n d_i^2/n \right)^{1/2}$	$= \left( \sum_{i=0}^n d_i^3/n \right)^{1/3}$	$= \sum_{i=0}^n d_i^3 / \sum_{i=0}^n d_i^2$	$r_1 = (D_{V0.9} - D_{V0.1})/D_{V0.5}$ $r_2 = D_{V0.5}/D_{N0.5}$

The definitions of the terms used in the equations are presented below.

$D_{10}$ ,  $D_{20}$ , and  $D_{30}$  refer to the arithmetic, surface, and volumetric mean diameters,  $\mu m$  ( $i$ : class number,  $d_i$  to average droplet diameter in  $i^{th}$  class,  $n$  to total number of droplets),  $D_{32}$  to the diameter value with the same volume/surface area as the ratio of the total volume of all droplets to their total surface area (Sauter mean diameter,  $\mu m$ ),  $D_{N0.5}$  to the diameter value dividing the total number of droplets into two equal parts, (numerical median diameter,  $\mu m$ ), and  $D_{V0.5}$  to the diameter value in the volumetric distribution dividing the total droplet volume into two equal parts (volumetric median diameter,  $\mu m$ ).

$D_{V0.1}$  and  $D_{V0.9}$  refer to the diameter values corresponding to 10% and 90%, respectively, of the total droplet volume in volumetric distribution, whereas  $\mu m V_{100}$  and  $V_{200}$  refer to the percentage of droplets having a diameter of  $<100$  and  $<200 \mu m$ , respectively, in volumetric distribution, %

$r_1$  represents the droplet homogeneity, dimensionless

$r_2$  represents the droplet homogeneity coefficient, dimensionless

$D_{min}$  - the smallest measured diameter value,  $\mu m$

$D_{max}$  - the largest measured diameter value,  $\mu m$

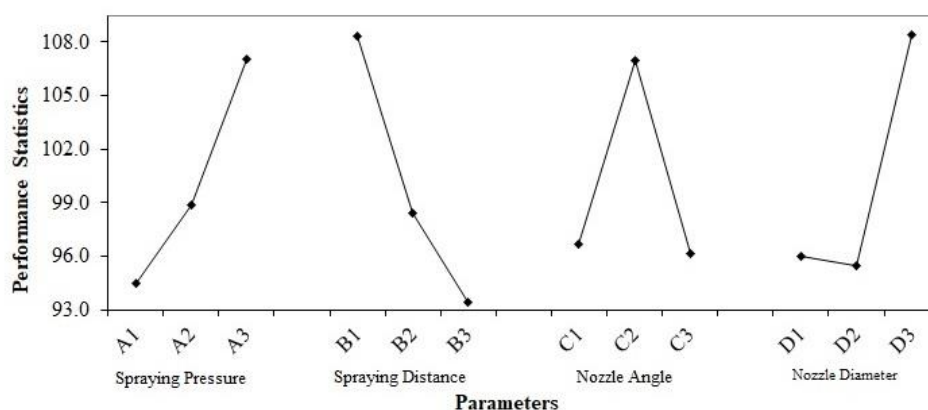
### 3. Results and Discussion

The data obtained from the experiments and measurements were analyzed using the ANOVA-TM package program in order to determine the effect of each parameter on the performance statistics. The effect of each parameter on the optimization criteria was calculated separately and the results are shown in Figure 4.

The numerical value of the maximum point in the graphs shows the best value for the given parameter, whereas the numerical value of the minimum point shows the worst value. In the graph illustrating the effect of droplet diameter (Figure 4), the minimum points of all parameters show the optimum levels of that parameter in the given level range selected in the experimental study.

At this point, it may seem difficult and complicated to understand the experimental results using the graphs given in the figures. For example, Figure 4 shows the change of the “performance parameter A” with spraying pressure. At the first point, the spraying pressure is 6 bar and it corresponds to the first level of this parameter (see Table 1). The experiments corresponding to Level 1 are included in the A column in Table 2 and the corresponding experiment numbers are 1, 2, and 3. Performance value is the average of the data obtained from these experiments. The experimental conditions for the 2<sup>nd</sup> data point in A in Figure 4 are the average of the experiments shown with 2 in column A (i.e.; 4, 5, and 6).

The numerical value of the minimum point in each graph indicates the best value of the given parameter. These values are given for each parameter in Table 4 and they express the optimum value of each parameter under the experimental conditions.



**Figure 4.** The effects of the parameters on the droplet diameter

Furthermore, the performance values of combinations corresponding to the optimum conditions estimated using the equations 3 in Table 4 and the confidence interval at 5% error level for these predictions were calculated with the help of equation 4, both of which are provided in Table 4. To

test the accuracy of these estimations, verification tests were conducted under the optimum conditions and the results are given in the "Real" line. Since the performance values obtained in the validation experiments are within the calculated confidence interval, it can be stated that the experimental results are acceptable at the 5% error level.

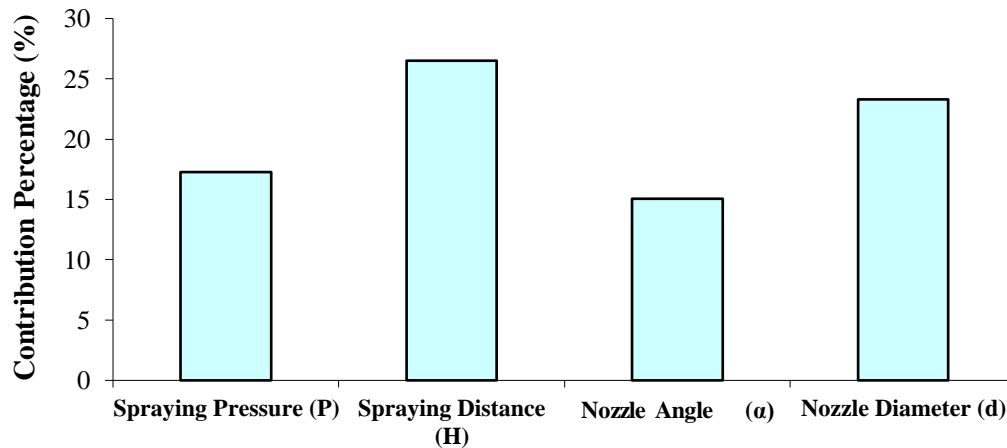
**Table 4.** Optimum design parameters

	Parameters				Performance Values		
	A	B	C	D	Volumetric Median Diameter		
	P	H	$\alpha$	d	Conf. Inter.	Real	Est.
Optimum Level	1*	3●	3°	2+	79.833	93	91.6
Optimum Value	6	100	30	1.10	- 100.111		

●: Effective 1<sup>st</sup> deg. +: Effective 2<sup>nd</sup> deg. \*: Effective 3<sup>rd</sup> deg. °: Effective 4<sup>th</sup> deg.

In Figure 5, the contribution percentages of the parameters to the selected performance characteristic can be seen. The contribution percentage shows the effect of the given parameter on the performance statistics and each one of them was calculated using the formula below.

$$CP = \frac{\text{Square Sums} - (\text{Degree of Freedom} \times \text{Error Sum})}{\text{Square Sums}} \tag{6}$$



**Figure 5.** Contribution Percentages of the Parameters on the Volumetric Median Diameter

The effects of the parameters on the Volumetric Median Diameter (VMD) are the spray height (H), the nozzle orifice diameter (d), the spray pressure (P), and the nozzle angle ( $\alpha$ ), respectively. The most effective parameter on the volumetric median diameter is the spray height. The increase and decrease of the spray pressure, nozzle diameter, and mean angle that the maximum distance that the

droplets can reach are affected. The droplet density and diameter increase with a decrease of the spray height. In this study, the spray height set at 100 cm yielded the smallest Volumetric Median Diameter. The second parameter influencing the Volumetric Median Diameter was the nozzle diameter ( $d$ ). In this study, the nozzle diameter set to be 1.10 mm yielded the smallest VMD. The third parameter that influenced the VMD was the spray pressure ( $P$ ). The spray pressure is one of the parameters decreasing the droplet diameter in spray application. The spray pressure affects the maximum distance that the droplet can reach, as well as the droplet diameter. In literature, it was reported that the droplet diameter values increased as the spray pressure value decreased. From this point of view, it can be seen that our system supports the literature. In this study, the spray pressure set at 6 bar yielded the smallest VMD. The fourth parameter that influenced the VMD is the spraying angle ( $\alpha$ ). The increase in the spraying angle affects the maximum distance the droplet can reach, depending on the operational pressure and the nozzle orifice diameter. Moreover, the nozzle angle of  $30^\circ$  resulted in the smallest VMD.

#### 4. Conclusions and Recommendations

In this study, it was aimed to reduce chemical use and protect the environment by optimizing the parameters affecting the droplet diameter. The effects of flow conditions on the droplet diameter were investigated using the Taguchi experimental design method in the spraying experimental setup created using water-sensitive papers. Mean Median Diameter was chosen as the performance characteristic. Examining the optimum conditions for the performance characteristics, where optimal results were calculated by processing the images obtained from water-sensitive papers and calculating the Average Median Diameter, the optimum values achieved were 6 bar of spraying pressure, 100 mm of spray height,  $30^\circ$  of nozzle angle, and 1.1 mm of nozzle orifice diameter. The parameters influencing the Volumetric Median Diameter were found to be spraying distance ( $H$ ), nozzle diameter ( $d$ ), spraying pressure ( $P$ ), and nozzle angle ( $\alpha$ ). Using the Taguchi method, the optimum conditions can be determined by considering the effects of all parameters together. Verification tests were carried out under optimum conditions, and it was concluded that the results were compatible with the analysis. In the future, pesticide application may depend on external factors (wind speed, humidity, temperature, etc.), the number of parameters can be increased and optimum conditions and interaction between parameters can be investigated in more detail. In particular, studies aimed at determining flow characteristics are complex studies. Therefore, in addition to the droplet diameter and homogeneity values obtained in this study, the adhesion amount of the substance can be calculated by using the droplet density and trace material. In this way, more detailed information can be obtained

about pesticide efficiency. Flow phenomena can be solved numerically using different flow simulation methods and CFD software such as Fluent and Comsol.

### **Acknowledgements**

This research was supported as a project (BAP-FYL 2019-8101) of the Research Fund of Van Yüzüncü Yıl University.

### **Authors' Contributions**

All authors contributed equally to the study.

### **Statement of Conflicts of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

### **Statement of Research and Publication Ethics**

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

### **References**

- Bayat, A., and Bozdogan, N. Y., (2005). An Air-Assisted Spinning Disc Nozzle and Its Performance on Spray Deposition and Reduction of Drift Potential. *Crop Protection*, 24, 651-960.
- Bretthauer, S. M., Wolf, R. E., Hager, A. G., and Fritz, B. K., (2011). The Effect of Nozzle Type and Deposition Aid on Herbicide Efficacy and Droplet Size. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, August 7-10, pp. 1, Louisville, Kentucky.
- Cetin, N., Saglam, C., and Demir, B., (2019). Determination of Spray Angle and Flow Uniformity of Spray Nozzles with Image Processing Operations. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 29(6), 1603-1615.
- Franz, E., (1993). Spray Coverage Analysis Using a Hand-Held Scanner. *Transactions of the ASAE*, 36(5), 1271-1278.
- Gunel, H., and Ozturk, I., (2006). Band Spraying and Direct Spraying Units and Utilization Fields of This Methods. *Atatürk University, Journal of The Faculty of Agriculture*, 38(1), 91-95.
- Foqué, D., and Nuyttens, D., (2011). Effect of Air Support and Spray Angle on Coarse Droplet Sprays in Ivy Pot Plants. *Transactions of the ASABE*, 54(2), 409-416.
- Hoffmann, W. C., and Salyani, M., (1996). Spray Deposition on Citrus Canopies Under Different Meteorological Conditions. *Transactions of the ASAE*, 39(1), 17-32.
- Kacker, R. N., (1985). Off-line Quality Control, Parameter Design and Taguchi Methods. *Journal of Quality Technology*, 17, 176-209.
- Marçal, A. R. S., and Cunha, M., (2008). Image Processing of Artificial Targets for Automatic Evaluation of Spray Quality. *Transactions of the ASABE*, 51(3), 811-821.
- Minov, V., Cointault, F., Vangeyte, J., Pieters, J. G., and Nuyttens, D., (2014). Spray Nozzle Characterization Using a Backlight High Speed Imaging Technique. *Aspects of Applied Biology*, 122, 353-361.

- Nuyttens, D., Baetens, K., De Schampheleire, M., and Sonck, B., (2007). Effect of Nozzle Type, Size, and Pressure on Spray Droplet Characteristics. *Biosystem Engineering*, 97(3), 333-345.
- Öztürk, A., Sönmez, F., and Kabakuş, A., (2023). Farklı Nanoakışkanlar Kullanılan Isı Borularında Termal Verimi Etkileyen Parametrelerin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(3), 1081-1090.
- Panneton, B., Philion, H., Thériault, R., and Khelifi, M., (2000). Spray Chamber Evaluation of Air-Assisted Spraying on Potato Plants. *Transactions of the ASAE*, 43(3), 529-534.
- Phadke, M. S., (1989). *Quality Engineering Using Robust Design*. Englewood Cliffs (NJ): Prentice-Hall.
- Phadke, M. S., Kackar, R. N., Speeney, D. V., and Grieco, M. J., (1983). Off-line Quality Control in Integrated Fabrication Using an Experimental Design. *Bell System Technical Journal*, 62(5), 1273-1309.
- Ross, P. J., (1989). *Taguchi Techniques for Quality Engineering*. Singapore: McGraw-Hill.
- Sæbø, O., and Wighus, R., (2015). Droplet Sizes From Deluge Nozzles. *SP Fire Research, SPFR Report A15*, 107453(1), 38.
- Sanchez-Hermosilla, J., and Medina, R., (2004). Adaptive Threshold for Droplet Spot Analysis Using Water-Sensitive Paper. *Applied Engineering in Agriculture*, 20(5), 547-551.
- Sayinci, B., Demir, B., and Acık, N., (2019). Estimation of Droplet Density and Spray Characteristics in Sprayer Nozzles. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 29(3), 458-465.
- Srivastava, A. K., Goering, C. E., and Rohrbach, R. G., (2006). Engineering Principles of Agricultural Machines. *ASAE Textbook Number 6*, ISBN 0-929355-33-4: 601.
- Sun, C. D., Qiu, W., Ding, W. M., and Gu, J. B., (2017). Design and Application of A System for Droplet-Size Measurement in The Field Based on Micro-Distance Imaging Technology. *Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers)*, 60(3), 615-624.
- Taguchi, G., (1987). *System of Experimental Design, Quality Resources*. New York: International Publications.
- Tanis, M., (2019). *Optimization of Spray Characteristics by Taguchi Method in Herbal Pesticide*. Master Thesis [In Turkish], Van Yuzuncu Yil University, Institute of Naturel and Applied Science, Van.
- Uremis, I., Bayat, A., Uludag, A., Bozdogan, N., Aksoy, E., Soysal, A., and Gonen, O., (2004). Studies on Different Herbicide Application Methods in Second Crop Maize Fields. *Crop Protection*, 23(11), 1137-1144.
- Višacki, V., Sedlar, A., Gil, E., Bugarin, R., Turan, J., Janić, T., and Burg, P., (2016). Effects of Sprayer Boom Height and Operating Pressure on The Spray Uniformity and Distribution Model Development. *Applied Engineering in Agriculture*, 32(3), 341-346.
- Zhu, H., Rowland, D. L., Dorner, J. W., Derksen, R. C., and Sorensen, R. B., (2002). Influence of Plant Structure, Orifice Size, and Nozzle Inclination on Spray Penetration Into Peanut Canopy. *Transactions of the ASAE*, 45(5), 1295-1301.

## Evaluating Climate Change Knowledge, Attitudes, and Behaviors (KAB) in Agricultural Sciences and Technologies Education

Tefide KIZILDENİZ<sup>1\*</sup> , Fatma BOZKURT<sup>2</sup> 

### Abstract

The aim of this study is to determine the levels of knowledge, attitudes, and behaviors (KAB) regarding climate change among undergraduate and postgraduate students enrolled into the Agricultural Sciences and Technologies in Niğde province. The research involved 200 students at both undergraduate and postgraduate levels, encompassing Turkish and English speakers. Research data were obtained through a personal information form designed to assess students' knowledge levels, behaviors, and attitudes toward climate change. The survey consists of four sections measuring students' demographic characteristics, behavioral traits related to climate change, attitudes toward climate change, and knowledge about the subject. Descriptive statistics, including percentages for categorical variables and mean  $\pm$  standard deviation for continuous variables, were used in data analysis to transparently illustrate the distribution of background variables such as age, gender, and education. Focusing on knowledge about climate change, 66% of students indicated that they attribute climate change to human activities. It was observed that students' awareness of environmental issues, specifically recycling, is at a rate of 22.5%. In conclusion, when examining the knowledge, attitudes, and behaviors of students are studied Agricultural Sciences and Technologies regarding climate change, the study highlights the need for more effective education and awareness programs on environmental issues.

**Keywords:** Agriculture, Attitude, Behavior, Climate Change, Education, KAB Analyze, Knowledge Level.

## Tarım Bilimleri ve Teknolojileri Eğitiminde İklim Değişikliği Bilgi, Tutum ve Davranışlarının (KAB) Değerlendirilmesi

### Öz

Bu çalışmanın amacı, Niğde ilinde Tarım Bilimleri ve Teknolojileri alanında öğrenim gören lisans ve yüksek lisans öğrencilerinin iklim değişikliği konularına yönelik bilgi düzeyleri, tutum ve davranışlarını (KAB) belirlemek için yapılmıştır. Bu çalışmada 200 lisans ve yüksek lisans (Türkçe-İngilizce) öğrencilerine yapılmıştır. Araştırma verileri öğrencilerin iklim değişikliği konularına yönelik bilgi düzeyi, davranış ve tutumlarını belirlemeye yönelik kişisel bilgi formundan elde edilmiştir. Anket çalışması; öğrencilerin demografik özelliklerini, iklim değişikliğine yönelik davranış özelliklerini, tutumlarını ve bilgi birikimlerini ölçmek üzere 4 bölümden oluşmaktadır. Verilerin analizinde yaş, cinsiyet ve eğitim gibi arka plan değişkenlerinin dağılımını açık bir şekilde göstermek amacıyla tanımlayıcı istatistiklerle beraber kategorik değişkenler yüzdelik olarak, sürekli değişkenler ise ortalama  $\pm$  standart sapma şeklinde gösterilmiştir. İklim değişikliğine dair bilgi birikimine odaklandığımızda, öğrencilerin %66'sı iklim değişikliğini insan faaliyetlerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Öğrencilerin çevresel konularda geri dönüşümde farkındalıklarının %22,5 oranında olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, Tarım Bilimleri ve Teknoloji Fakültesi öğrencilerinin iklim değişikliği konusundaki bilgi düzeyi, tutumları ve davranış özellikleri incelendiğinde, çevresel konularda daha etkili eğitim ve farkındalık programlarına ihtiyaç olduğu ortaya çıkmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Bilgi Düzeyi, Davranış, Eğitim, İklim Değişikliği, KAB Analizi, Tarım, Tutum.

<sup>1</sup>Niğde Ömer Halisdemir University, Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, Biosystems Engineering Department, Niğde, Türkiye, [tkizildeniz@ohu.edu.tr](mailto:tkizildeniz@ohu.edu.tr)

<sup>2</sup>Niğde Ömer Halisdemir University, Institute of Science, Department of Plant Production and Technologies, Niğde, Türkiye [bozkurt.f.1500@gmail.com](mailto:bozkurt.f.1500@gmail.com)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author



## 1. Introduction

### 1.1. Climate Change and Issues Related to Climate Change

Climate change denotes the long-term transformations occurring in global climate systems due to the disruption of the natural balance caused by human activities. It is associated with the increased concentration of greenhouse gases in the atmosphere, leading to a rise in average temperatures worldwide (Kurnaz, 2023). Climate change is defined as "*changes in the average state of the climate or in its variability, persisting for several decades or longer, regardless of the cause*" (IPCC, 2021). Without substantial reductions in CO<sub>2</sub> and other greenhouse gas emissions in the coming years, global warming is projected to exceed 1.5°C and 2°C in the 21<sup>st</sup> century (IPCC, 2021; Matthews and Wynes, 2022). The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), a group of independent experts, provides information about climate change based on scientific research, predictions, and reports.

These reports highlight that the increase in average surface temperatures on the planet (Yoro and Daramola, 2020; Kurniawan et al., 2022) and resulting seasonal changes (Cardoso et al., 2017) are attributed to the escalating greenhouse gas emissions due to fossil fuel use, deforestation, land-use changes, and industrialization (Özkaya, 2013). The IPCC reports warns that if comprehensive measures to combat climate change are not taken, there will be an increase in hurricanes, droughts, and rising sea levels (IPCC, 2014; 2018). The predictions in the report emphasize that Türkiyeour country, surrounded by seas on three sides, is at significant risk if these projections materialize (IPCC, 2014).

Climate change results in significant deviations in precipitation quantity and patterns, leading to increased intensity and frequency of disasters such as droughts, floods, and storms (Ali and Mohamed, 2023; Rawat et al., 2023). Additionally, it causes a rise in salinity and acidification in the oceans (Özkaya, 2013; Li et al., 2023; Possenti et al., 2023). The climate change induced by human activities extends beyond natural climate fluctuations, encompassing more frequent and intense extreme events, resulting in widespread adverse consequences and subsequent losses and damages to both the environment and humans (Naela et al., 2023; Bedeke, 2023). While some mitigation and adaptive efforts have reduced the effectiveness of these impacts (Aigwi et al., 2023), imbalances are observed among different sectors and regions, particularly affecting vulnerable individuals such as socio-economically disadvantaged groups, elderly or infirm individuals, children and youth, indigenous or minority populations and individuals with disabilities ext. and systems (Erdoğan and Cantürk, 2022).

## 1.2. Knowledge and Climate Attitude: What Are Behavioral Expressions?

Knowledge, Attitude and Behavior, refers KAB, suggests that it must be addressed with the aim to advocate pro-environmental initiatives as well as sustainability throughout individuals (Kollmuss and Agyeman, 2002). The term "*attitude*" is used to describe "a psychological tendency that is expressed by evaluating a particular entity with some degree of favor or disfavor" (Eagly & Chaiken, 1993). Moreover, "*knowledge*" is defined as "all kinds of ideas and actions accepted by one or more social groups or communities; ideas and actions about facts that they themselves and others consider true" (McCarthy, 2002; Aydoğdu, 2021). The term "knowledge level" signifies the amount and depth of knowledge an individual or a community possesses about a specific subject, field, or topic. This term is often defined as the assessment of an individual's or group members' knowledge levels in a particular area (Uçak, 2010; Newell, 1982; Mondak and Davis, 2001; Dieterich, 1986).

Climate change attitude may manifest as believing in the existence of climate change, believing in the role of human activities in this change, expressing concerns, and supporting policies aimed at reducing climate change (Rode et al., 2021). Regardless of a number of attempts of KAB, knowledge transfer and eventual application of knowledge, attitudes, values, and so on into actual conduct have yet to be accomplished. This has also been observed by students of agricultural sciences and technology.

Even though sustainable and climate-friendly activities are a rather extensively researched issue, daily life implementation of Climate Change Education (CCE) and Education for Sustainable Development (ESD) components has yet to be effectively applied.

## 1.3. The Importance of Universities in Analyzing and Addressing the Concept of Climate Change

Various national and international initiatives have been put into motion to alleviate the detrimental impacts of global climate change on a global scale, confront its challenges, and maximize positive outcomes. At the forefront of these efforts is the imperative to raise awareness among individuals and communities. The key is to ensure that the measures taken in response to climate change seamlessly integrate into the fabric of everyday life (Ay and Erik, 2020). It is crucial to ensure that the measures taken to combat climate change are seamlessly integrated into everyday life (Ay and Erik, 2020).

In everyday life, universities are institutions that come to mind when discussing knowledge production and dissemination, playing a pivotal role in creating and communicating knowledge to all segments of society (Altbach, 2007), especially in the hot topics such as climate changes (Prokopy

et al., 2017; Barreda, 2018). Our era is characterized by the prominence of knowledge, and societies that effectively produce and utilize knowledge advance with developments. The primary purpose of universities is to generate knowledge, and it is crucial that the knowledge produced is unbiased, reliable, and meets the requirements of the era (Demir, 2023).

In the process of knowledge production, universities must adhere to ethical principles by considering these considerations. Knowledge production is a professionally demanding activity requiring expertise, and this reality should not be overlooked. In addition to having qualified academicians, universities are obliged to undertake tasks such as providing access to necessary technological infrastructure in this context (Demir, 2023; Reimers, 2021).

Universities play a significant role in the fight against climate change, and they contribute to our better understanding of climate change by analyzing its causes, effects, and potential solutions (Molthan-Hill et al., 2022). Moreover, they educate students on this crucial topic, raising awareness among the future leaders about climate change (Reimers, 2021).

#### **1.4. The Significance of Universities in Climate Change Education and Action**

Universities possess the potential to lead innovative solutions and research projects related to climate change (McCowan et al., 2021; Benayas et al., 2010). They can also enhance societal awareness by providing scientific guidance in the policy-making process (Dilling and Lemos, 2011). Therefore, the efforts of universities on climate change are of great importance and should be supported (Filho et al., 2018; McCowan, 2023).

The university system can be perceived as an institution that imparts profound knowledge, educates, and guides students. Particularly concerning climate change education, universities aim to involve students in research activities through learning science, understanding climate change (Baricco et al., 2018), contributing to climate change studies and projects (Sanni et al., 2011), and participating in various local and international workshops, seminars, and conferences (Filho, 2010; Manroe et al., 2019).

Universities play a crucial role in addressing climate change challenges (Molthan-Hill et al., 2019; Hart et al., 2015; Knuth et al., 2007). They contribute to a better understanding of climate change by analyzing its causes, effects, and potential solutions. Simultaneously, they educate students on this crucial topic, raising awareness among future leaders about climate change.

To provide a more extensive learning experience on climate change, global universities should expend more effort on creating advanced curricula, developing programs, increasing capacity, and fostering collaboration across different disciplines (Filho et al., 2021). In this context, it is necessary to raise awareness among Agriculture Science and Technology Faculty undergraduate and

postgraduate students about the complexity of climate change-related issues, as well as the need for personal involvement and action.

Universities are especially encouraged to enhance their efforts to educate local residents about climate change. In this regard, universities play an essential role in supporting solutions in terms of climate change adaptation and mitigation issues. Guiding students to be active members of society and creating awareness about climate change reflects the unique position of universities (Hung, 2022). Young people, considered the leaders of the future, are nurtured in universities. Therefore, the approaches of young individuals toward resources, the environment, and quality of life are crucial. Climate change and related challenges, climate awareness, attitudes, and behaviors should be prioritized by universities. Universities should implement various methods to integrate climate change topics into students' education. This allows students to gain a closer understanding of the complexity and significance of climate change. Universities should create climate change education programs to deepen students' knowledge in this field. Additionally, by offering research opportunities, universities can enhance students' potential contribution to climate change awareness (Filho et al., 2021).

Furthermore, by organizing environmental awareness activities and sustainability projects, universities can encourage students to take an active role in this field (Lukman and Glavič, 2007; Chawla and Cushing, 2007). Collaborating with the community, universities can help students develop practical solutions to climate change issues (Gibb, 2016). These approaches represent methods that universities can use to allow students to experience climate change topics more closely and increase their awareness in this area (Filho, 2010; Filho et al., 2021).

Therefore, the aim of this study is to assess the knowledge levels of undergraduate and postgraduate students at the Niğde Ömer Halisdemir University in Turkey regarding climate change and to examine their attitudes and behaviors on this subject. From this perspective, the study focuses on analyzing the knowledge levels, attitudes, and behaviors of undergraduate students are studied Agricultural Sciences and Technologies and postgraduate students in the Agricultural Sciences programs (conducted in both Turkish and English).

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Research Design**

The type of this study is planned to be qualitative, employing the interview method as one of the qualitative research methods. This research was conducted with both local and international undergraduate and master students studying in Niğde Ömer Halisdemir University, Agricultural

Sciences and Technologies (Departments of Plant Production and Technologies, Biosystems Engineering, Animal Production and Technologies, and Agricultural Genetic Engineering) during the academic year 2023-2024 in both Turkish and English programmes. The sample size comprises 200 students. The survey application period for the research was from September to November 2023.

## 2.2. Data Collection Instruments

The research questions are categorized into three categories: i) Behavioral characteristics of students are studied in the Agricultural Sciences and Technologies regarding to climate change issues, ii) Attitudes of students in the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies toward climate change issues, and iii) Knowledge levels of students in the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies regarding to climate change issues. Questions in the first and second categories were adapted from Likert-scale tested questions, as employed by Budak et al. (2005). Questions in the third category were derived from questions tested and applied in the cross-sectional research scale in the study by Karami and Shobeiri (2017).

The survey includes 6 questions related to demographic characteristics, 8 questions assessing behavioral characteristics regarding climate change, 7 questions examining attitudes toward climate change, and 14 questions measuring knowledge about climate change.

## 2.3. Data Collection and Analyses

The research is planned to employ the qualitative research method of interview. Additionally, data was gathered using a combination of a personal information form and a survey method. The survey consists of four sections aimed at measuring students' demographic characteristics, behavioral traits related to climate change, attitudes towards climate change, and knowledge about climate change. The questionnaire, comprising a total of 35 questions, was conducted online through "*Google Forms*".

Descriptive statistics were employed in the analysis of the data to transparently illustrate the distribution of background variables such as age, gender, and education. While categorical variables were expressed in percentage terms, continuous variables were presented as mean  $\pm$  standard deviation.

## 2.4. Ethical Aspect of the Research

This study has been deemed ethically appropriate by the Scientific Research and Publication Ethics Committee of Niğde Ömer Halisdemir University. The necessary ethical committee approval was granted, as stated in the letter dated July 5, 2023, with the reference number E-86837521-050.99-381235 from the Niğde Ömer Halisdemir University Rectorate.

## 3. Results and Discussion

### 3.1. Demographic Characteristics of Students

In this study, interviews were conducted with 200 students consisting of 180 bachelors from the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies and 20 master students registered to Graduate School of Natural and Applied Sciences and actively taking courses and practices in the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies, regardless of their department, comprising 102 males and 98 females. The distribution of students based on age, gender, and educational level is presented in Table 1.

**Table 1.** Demographic characteristics of students.

	Categories	Number of Respondents	% Percentage of Respondents
Age	18-20	57	28.5
	21-23	93	46.5
	24-26	37	18.5
	27 and over	12	6
	Unanswered	1	0.5
Gender	Woman	98	49
	Man	102	51
Education level	Bachelor	180	90
	Master	20	10
	Degree		
Bachelor's degree	1 <sup>st</sup> Year	100	50
	2 <sup>nd</sup> Year	25	12.5
	3 <sup>rd</sup> Year	22	11
	4 <sup>th</sup> Year	33	16.5
Master's degree	1 <sup>st</sup> Year	13	6.5
	2 <sup>nd</sup> Year	7	3.5

### 3.2. Knowledge Levels of Students in the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies Regarding Climate Change

While 66% of the participants in the survey believe that climate change is caused by human activities, 22% consider it a natural process (Table 2). Only 34% of the students believe they have knowledge about the global average temperature increasing by 0.8°C in the last 160 years (Table 2). Detailed responses regarding the students' knowledge levels are presented in (Table 2).

**Table 2.** Student's Knowledge on Climate Change

	Never %	Occasionally %	Sometimes %	Often %	Always %	Average mean $\pm$ S.D.
Climate change is a natural process.	16.5	21.5	37	13.5	8.5	2.8 $\pm$ 1.16
Using fossil fuels such as coal, oil, and natural gas causes changes in the Earth's climate.	1.5	7	15.5	29.5	44.5	4.1 $\pm$ 1.01
Poor industrial practices impact climate change.	1	6	16.5	21	55.5	4.3 $\pm$ 0.98
In the last 160 years, the global average temperature has increased by 0.8°C; do you have any information about this?	20.5	18.5	25.5	19.5	14.5	2.9 $\pm$ 1.34
The rise in sea levels is a result of climate change.	2	9.5	17.5	26.5	42.5	4.0 $\pm$ 1.09
Temperature increases are related to climate change.	1	6.5	15	27.5	48	4.2 $\pm$ 0.98
Economic losses are linked to climate change.	2	11	29	24.5	30	3.7 $\pm$ 1.08
There is an impact of climate change on health crises	3	12.5	22.5	31.5	29.5	3.7 $\pm$ 1.11
Climate change is caused by human activities.	1	6	22	34	32	3.9 $\pm$ 0.95
There is a difference between naturally occurring greenhouse effects and anthropogenically induced greenhouse effects.	2.5	9	22.5	30.5	32.5	3.8 $\pm$ 1.07

Focusing on the knowledge about climate change, it was found that the majority of students believe that climate change is caused by human activities. This result is consistent with the findings of a similar study conducted by Karami et al. (2017) targeting teachers. Furthermore, the results of the survey conducted by Güloğlu and Bulut (2016) on students of the Faculty of Forestry at Kastamonu University, indicating a high percentage attributing climate change to human activities, were confirmed in this study. Additionally, Emecen and Erdem's (2022) research supports a similar perspective that climate change is caused by human activities.

In this research on the relationship between health pandemics and climate change, it has been revealed that health problems are affected by climate change at a rate of 61%. However, it is important to note that only 34% of the students are aware of the increase in the global average temperature in the last 160 years. These results emphasize the general lack of knowledge about climate change, indicating the need for more awareness and education for students.

### **3.3. Attitudes of Students in the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies Towards Climate Change**

The results of the survey revealed that 84% of the students find water conservation important, with only 5.5% expressing disagreement. Additionally, 7.5% of the students indicated that they had no opinion on this matter. In response to the question regarding opposition to any environmental regulations that might restrict their lifestyle, 31% of the students agreed, while 31.5% disagreed (Table 3). The results showed average scores of 4.48, 2.95, and 3.22, respectively. Detailed responses regarding students' attitudes toward climate change are presented in (Table 3).



**Table 3.** Students Attitudes Towards Climate Change

	Never %	Occasionally %	Sometimes %	Often %	Always %	Average mean $\pm$ S.D.
I am concerned about the issue of deforestation.	1.5	10	14.5	28.5	43.5	4.04 $\pm$ 1.06
Water conservation is important to you.	1	4.5	7.5	18	66	4.48 $\pm$ 0.90
More regulation should be applied to industry and agriculture to preserve environmental quality.	0.5	5.5	8.5	18.5	63.5	4.44 $\pm$ 0.91
There are enough laws to protect the environment.	20	38	25	8.5	4	2.35 $\pm$ 1.04
I oppose any environmental regulation that would restrict lifestyle.	13	18.5	34	21.5	9.5	2.95 $\pm$ 1.16
I enjoy watching TV programs about environmental issues.	11.5	20.5	32.5	17.5	13.5	3.01 $\pm$ 1.20
If you don't turn off the lights in the classroom, it will be noticed because many lights on campus are in use.	8.5	14.5	22.5	18.5	31	3.51 $\pm$ 1.32

In examining students' perspectives on climate change, a widespread understanding emerges regarding the importance of water conservation. However, it is important to highlight the significant proportion of students opposing environmental regulations that would restrict their lifestyle. This indicates that environmental responsibilities vary among individuals, and efforts to raise awareness on environmental issues need to continue.

### 3.4. Behavioral Characteristics of Students in the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies Towards Climate Change

According to the survey results, 70.5% of the students responded that they turn off lights when not in use for electricity conservation. 12% answered no to this question. Regarding discussing what they can do to address environmental issues, 36% of the students responded affirmatively, stating that they talk to their family and friends. 31% answered no (Table 4).

**Table 4.** Behavioral Characteristics of Students Towards Climate Change.

	Never %	Occasionally %	Sometimes %	Often %	Always %	Average mean $\pm$ S.D.
I turn off the lights when they are not in use for electricity saving.	1	11	11.5	24.5	46	4.1 $\pm$ 1.08
I buy overly packaged products.	6	24	45	12.5	7.5	2.91 $\pm$ 0.97
When people harm the environment, I talk to persuade them to stop such activities.	5.5	31.5	26	21	14.5	3.07 $\pm$ 1.16
I recycle paper, glass, plastic, and metal waste products at home.	18	27.5	28	15	7.5	2.65 $\pm$ 1.17
I buy organic fruits and vegetables.	4	10.5	21	28	34	3.79 $\pm$ 1.15
I let the water run a lot while brushing my teeth.	44.5	30.5	13.5	4.5	4	1.89 $\pm$ 1.07
I use paper towels.	2.5	15	25	29	24	3.59 $\pm$ 1.10
I talk with my family and friends about what they can do to solve environmental issues.	5.5	25.5	31	19.5	16.5	3.16 $\pm$ 1.15

Regarding the behavioral characteristics related to climate change, students were observed to exhibit conscious behaviors on environmental issues such as electricity conservation and recycling. However, considering the significant lack of awareness about water consumption while brushing teeth, it is concluded that students need more information on water conservation, and awareness of environmental impacts should be increased.

#### 4. Conclusions and Recommendations

This research, which assesses the knowledge levels, attitudes, and behavioral characteristics of students in the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies regarding climate change, provides a significant perspective on sensitivity to climate-related issues. When examining the demographic characteristics of the 200 participants in the study, it was observed that the majority of the participants received undergraduate education in the 21-23 age range, and the gender distribution was almost equal. Most students believe that human activities are the main cause of climate change. This view is consistent with previous studies conducted among teachers and forestry students, as well as recent research findings. This research examines the connection between health pandemics and climate change, revealing a significant impact on health problems. However, it also highlights a lack of awareness among students regarding the increase in global average temperature over the past century and a half. These findings underscore the need for enhanced education and awareness initiatives

regarding climate change. In assessing students' attitudes toward climate change, there is a widespread acknowledgment of the importance of water conservation. Yet, it's crucial to note a substantial portion of students opposing environmental regulations that could impact their lifestyle. This suggests varying levels of environmental responsibility among individuals, emphasizing the ongoing need for awareness-raising efforts on environmental issues. Students show conscious behaviors in areas like electricity conservation and recycling, but lack awareness about water consumption while brushing teeth, highlighting the need for more education on water conservation and increased awareness of environmental impacts.

In conclusion, when examining the knowledge levels, attitudes, and behavioral characteristics of students in the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies regarding climate change, there is a need for more effective education and awareness programs on environmental issues. It is expected that these efforts will contribute to future generations fulfilling their environmental responsibilities more effectively. When evaluated based on students' knowledge levels, a high participation rate (74%) is observed in the judgment that the use of fossil fuels such as coal, oil, and natural gas causes changes in the Earth's climate. In this context, these results, parallel to a study conducted on teachers by Karami et al. (2017), indicate that students have a general awareness of the potential effects of fossil fuels, especially coal, oil, and natural gas, on the Earth's climate. This significant finding emphasizes that awareness of the impact of fossil fuels on climate change is widely shared among a large student population. From this perspective, associating fossil fuels with climate change contributes effectively to education and informational activities.

Based on the conclusion provided, it is recommended to develop targeted education and awareness programs for students in the Faculty of Agricultural Sciences and Technologies. These programs should cover topics such as the causes and effects of climate change, water conservation, and individual roles in mitigating climate challenges. Encouraging interdisciplinary collaboration, integrating climate change education into existing courses, fostering active participation, and providing resources and support systems are essential. Implementing these recommendations can enhance students' understanding and readiness to address environmental challenges effectively.

### **Acknowledgements**

The authors are acknowledged the students and academic staff of Niğde Ömer Halisdemir University.

## Authors' Contributions

TK contributed to the experimental design, interpretation of the results, reviewed and elaborated the final manuscript. FB performed the data collection and analysis and elaborated the first draft of the manuscript.

## Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics. The necessary ethical committee approval was granted, as stated in the letter dated July 5, 2023, with the reference number E-86837521-050.99-381235 from the Niğde Ömer Halisdemir University Rectorate.

## References

- Aigwi, I. E., Duberia, A., & Nwadike, A. N. (2023). Adaptive reuse of existing buildings as a sustainable tool for climate change mitigation within the built environment. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 102945.
- Ajzen, I & Fishbein, M. (2000). Attitudes and the attitude-behavior relation: Reasoned and automatic processes. *European review of social psychology*, 11(1), 1-33.
- Ali, A. M. S., & Mohamed, M. O. (2023). Climate change-induced floods and storms: Impacts of changing rainfall patterns in Somalia.
- Altbach, P. G. (2007). Empires of knowledge and development. *World class worldwide: Transforming research universities in Asia and Latin America*, 1-28.
- Ay, F., & Erik, N. Y. (2020). Üniversite Öğrencilerinin Küresel Isınma ve İklim Değişikliğine Yönelik Bilgi ve Algı Düzeyleri. *Cumhuriyet Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 44(2).
- Aydoğdu, O. K. (2021). Bilgi Nedir? Bilmek İçin İnanmak Mı Gerekir? *Maksima Bilim, Kültür, Sanat ve Edebiyat Dergisi*, 5-6, Retrieved from <https://philarchive.org/archive/AYDBNB>
- Baricco, M., Tartaglino, A., Gambino, P., Dansero, E., Cottafava, D., & Cavaglia, G. M. C. (2018). University of turin performance in UI GreenMetric energy and climate change. In *E3S web of conferences* (Vol. 48, pp. 03003-03003).
- Barreda, A. B. (2018). Assessing the level of awareness on climate change and sustainable development among students of Partido State University, Camarines Sur, Philippines. *Journal of sustainability education*, 17, 1-17.
- Bedeke, S. B. (2023). Climate change vulnerability and adaptation of crop producers in sub-Saharan Africa: A review on concepts, approaches and methods. *Environment, Development and Sustainability*, 25(2), 1017-1051.
- Benayas, J., Alonso, I., Alba, D., & Pertierra, L. (2010). The impact of universities on the climate change process. *Universities and Climate Change: Introducing Climate Change to University Programmes*, 47-65.

- Budak, D.B, Budak, F., Zaimoglu, Z., Kekec, S., & Sucu, MY (2005). Behaviour and attitudes of students towards environmental issues at faculty of agriculture, Turkey. *Journal of Applied sciences*, 5(7), 1224-1227.
- Bush, S.S., & Clayton, A. (2023). Facing change: Gender and climate change attitudes worldwide. *American Political Science Review*, 117(2), 591-608.
- Cardoso, A. D. S., Brito, L. D. F., Januskiewicz, E. R., Morgado, E. D. S., Barbero, R. P., Koscheck, J. F. W., ... & Ruggieri, A. C. (2017). Impact of grazing intensity and seasons on greenhouse gas emissions in tropical grassland. *Ecosystems*, 20, 845-859.
- Chawla, L., & Cushing, D. F. (2007). Education for strategic environmental behavior. *Environmental education research*, 13(4), 437-452.
- Demir, G. (2023). Yükseköğretimde etik ilkelerin gelişimi ve önemi. *Rumelide Dil ve Edebiyat Araştırmaları Dergisi*, (34), 403-420.
- Dietterich, T. G. (1986). Learning at the knowledge level. *Machine Learning*, 1, 287-315.
- Dilling, L., & Lemos, M. C. (2011). Creating usable science: Opportunities and constraints for climate knowledge use and their implications for science policy. *Global environmental change*, 21(2), 680-689.
- Eagly, A. H., & Chaiken, S. (1993). *The psychology of attitudes*. Harcourt brace Jovanovich college publishers.
- Emecen, Y., & Erdem, N. (2022). İklim Değişikliğine Yönelik Farkındalığın Üniversite Öğrencisi Bakış Açısıyla Değerlendirilmesi: Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Örneği. *Meriç Uluslararası Sosyal ve Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 6(16), 206-224.
- Erdoğan Z. & Cantürk S., (2022). İklim-Çatışma-Göç Bağını Anlamak: İklim-Çatışma Bölgelerinden Türkiye'ye Göç. *Siyasal: Journal of Political Sciences*, 31(1), 137-155.
- Filho, L.W. (Ed.), (2010). *Universities and climate change*. Springer, ss 21-30
- Filho, W. L. (2010). Climate change at universities: results of a world survey. *Universities and Climate Change: Introducing Climate Change to University Programmes*, 1-19.
- Gibb, N. (2016). Getting climate ready: A guide for schools on climate action and the whole-school approach. UNESCO Publishing.
- Güloğlu, Y., & Bulut, A. (2016). İklim değişikliği konusunda orman fakültesi öğrencilerinin bilgi düzeylerinin belirlenmesi (Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi örneği). *Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 16(2), 640-654.
- Hart, D. D., Bell, K. P., Lindenfeld, L. A., Jain, S., Johnson, T. R., Ranco, D., & McGill, B. (2015). Strengthening the role of universities in addressing sustainability challenges: The Mitchell Center for Sustainability Solutions as an institutional experiment. *Ecology and Society*, 20(2).
- Hung, C. C. (2022). Climate change education: Knowing, doing and being. Taylor & Francis.
- IPCC, (2021). Climate change widespread, rapid, and intensifying,, Retrieved from <https://www.ipcc.ch/2021/08/09/ar6-wg1-20210809-pr/>, (Date Accessed: 19 November 2023).
- IPCC (2014). Climate Change, AR5 Synthesis Report, Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>, 2014, (Date Accessed: 19 November 2023).
- IPCC (2018). Global warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, J. B. R. Matthews, Ed. (World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2018).
- Karami, M. L. (2023). İklim Değişikliği ve Uyum Süreçlerinde Türkiye. *Resilience*, 7(1), 199-208.
- Karami, S., Shobeiri, S. M., Jafari, H., & Jafari, H. (2017). Assessment of knowledge, attitudes, and practices (KAP) towards climate change education (CCE) among lower secondary teachers in Tehran, Iran. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 9(03), 402-415.
- Knuth, S., Nagle, B., Steuer, C., & Yarnal, B. (2007). Universities and climate change mitigation: Advancing grassroots climate policy in the US. *Local Environment*, 12(5), 485-504.
- Kollmuss, A., & Agyeman, J. (2002). Mind the gap: why do people act environmentally and what are the barriers to pro-environmental behavior?. *Environmental education research*, 8(3), 239-260.
- Kurniawan, K., Supriatna, J., Sapoheluwakan, J., Soesilo, T. E. B., Mariati, S., & Gunarso, G. (2022). The analysis of forest and land fire and carbon and greenhouse gas emissions on the climate change in Indonesia. *AgBioForum*, 24(2), 1-11.
- Leal Filho, W., Morgan, E. A., Godoy, E. S., Azeiteiro, U. M., Bacelar-Nicolau, P., Avila, L. V., ... & Hugé, J. (2018). Implementing climate change research at universities: Barriers, potential and actions. *Journal of cleaner production*, 170, 269-277.

- Leal Filho, W., Sima, M., Sharifi, A., Luetz, J. M., Salvia, A. L., Mifsud, M., ... & Lokupitiya, E. (2021). Handling climate change education at universities: an overview. *Environmental Sciences Europe*, 33, 1-19.
- Li, M., Guo, Y., Cai, W. J., Testa, J. M., Shen, C., Li, R., & Su, J. (2023). Projected increase in carbon dioxide drawdown and acidification in large estuaries under climate change. *Communications Earth & Environment*, 4(1), 68.
- Lukman, R., & Glavič, P. (2007). What are the key elements of a sustainable university?. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 9, 103-114.
- Matthews, H. D., & Wynes, S. (2022). Current global efforts are insufficient to limit warming to 1.5 C. *Science*, 376(6600), 1404-1409.
- McCarthy, E. D., & Yılmaz, A. F. (2002). *Bilgi külürü: yeni bilgi sosyolojisi*. Çiviyazıları.
- McCowan, T. (2023). The climate crisis as a driver for pedagogical renewal in higher education. *Teaching in Higher Education*, 28(5), 933-952.
- McCowan, T., Leal Filho, W., & Brandli, L. (2021). Universities facing climate change and sustainability.
- Molthan-Hill, P., Blaj-Ward, L., Mbah, M. F., & Ledley, T. S. (2022). Climate change education at universities: Relevance and strategies for every discipline. In *Handbook of climate change mitigation and adaptation* (pp. 3395-3457). Cham: Springer International Publishing.
- Molthan-Hill, P., Worsfold, N., Nagy, G. J., Leal Filho, W., & Mifsud, M. (2019). Climate change education for universities: A conceptual framework from an international study. *Journal of Cleaner Production*, 226, 1092-1101.
- Mondak, J. J., & Davis, B. C. (2001). Asked and answered: Knowledge levels when we will not take “don't know” for an answer. *Political Behavior*, 23, 199-224.
- Monroe, M. C., Plate, R. R., Oxarart, A., Bowers, A., & Chaves, W. A. (2019). Identifying effective climate change education strategies: A systematic review of the research. *Environmental Education Research*, 25(6), 791-812.
- Neale, P. J., Williamson, C. E., Banaszak, A. T., Häder, D. P., Hylander, S., Ossola, R., ... & Zepp, R. (2023). The response of aquatic ecosystems to the interactive effects of stratospheric ozone depletion, UV radiation, and climate change. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 1-35.
- Newell, A. (1982). The knowledge level. *Artificial intelligence*, 18(1), 87-127.
- Özkaya, S. Y. (2013). İklim değişikliği ve etik prensipler. *Ulusal Ekonomik Sorunlar Dergisi*, 46, 123-132.
- Possenti, L., Reichart, G. J., de Nooijer, L., Lam, F. P., de Jong, C., Colin, M., ... & von der Heydt, A. (2023). Predicting the contribution of climate change on North Atlantic underwater sound propagation. *PeerJ*, 11, e16208.
- Prokopy, L. S., Bartels, W. L., Burniske, G., & Power, R. (2017). Agricultural extension and climate change communication. In *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*.
- Rawat, A., Kumar, D., & Khati, B. S. (2023). A review on climate change impacts, models, and its consequences on different sectors: a systematic approach. *Journal of Water and Climate Change*, jwc2023536.
- Reimers, F. M. (2021). The role of universities building an ecosystem of climate change education. *Education and climate change: The role of Universities*, 1-44.
- Reimers, F. M. (2021). *Education and climate change: The role of universities* (p. 201). Springer Nature.
- Rode, J. B., Dent, A. L., Benedict, C. N., Brosnahan, D. B., Martinez, R. L., & Ditto, P. H. (2021). Influencing climate change attitudes in the United States: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Environmental Psychology*, 76, 101623.
- Sanni, M., Adejuwon, J. O., Ologeh, I., & Siyanbola, W. O. (2011). Path to the Future for Climate Change Education: University Project Approach (pp. 693-702). Springer Berlin Heidelberg
- Uçak, N. Ö. (2010). Bilgi: Çok yüzlü bir kavram. *Türk Kütüphaneciliği*, 24(4), 705-722.
- Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2020). CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. In *Advances in carbon capture* (pp. 3-28). Woodhead Publishing.

## Düzlemsel Hareket Altında Bazı Özel Eğri Tiplerine En Az Eylem İlkesinin Uygulanması

Serdar SOYLU<sup>1\*</sup>, Elvan KORKMAZ USTA<sup>2</sup>

### Öz

Bu çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın giriş bölümünde literatür özeti verilir ve ikinci bölümde bazı özel sikloid tipi eğri tanımları verilmiş ve en az eylem ilkesi ifade edilmiştir. Çalışmanın orijinal kısmı üçüncü bölümdür. Bu bölümde öncelikle kapalı düzlemsel hareket altında özel sikloid tipi eğriler ifade edilmiş ve bu eğrilere en az eylem ilkesi uygulanmıştır. Eğrilerin minimal eylem noktalarının hesaplanabilmesi için hareketli düzlemin noktalarının enerjileri hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Düzlemsel Hareket, Sikloid Tipi Eğriler, En Az Eylem İlkesi, Kinetik Enerji.

## The Application of the Principle of Least Action to the Some Special Curve Types Under the Planar Motion

### Abstract

This study consist of four chapters. In the introduction chapter, the summary of literature is given. In the second chapter, some specific cycloid-type curve definitions are given and the principle of least action is expressed. The original part of the study is the third chapter. Firstly special cycloid-type curves are expressed under closed planar motion and the principle of least action is applied to these curves in this chapter. The energies of the points of the moving plane are calculated in order to calculate the minimum action point of these curves.

**Keywords:** Planar Motion, Cycloid Type Curves, Principle of Least Action, Kinetic Energy.

<sup>1,2</sup>Giresun University, Faculty of Art and Sciences, Giresun, Turkey, [serdar.soylu@giresun.edu.tr](mailto:serdar.soylu@giresun.edu.tr) [elvan.korkmaz@giresun.edu.tr](mailto:elvan.korkmaz@giresun.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 18.12.2023

Kabul/Accepted: 30.05.2024

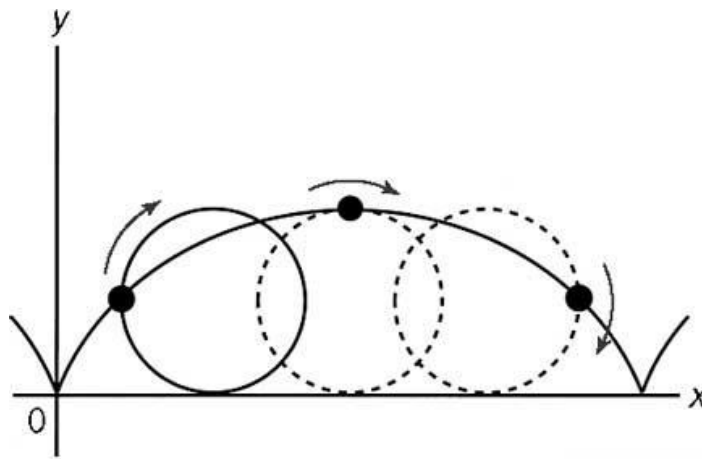
Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Geometri, dönüşümler altında değişmezlerin teorisidir. Bir cismin sabit bir noktaya göre zamana karşı yer değiştirmesine hareket denir. Hareketle ilgili bilim dalları mekanik ve kinematik olarak sınıflandırılabilir. Mekanikte hareketin kuvvet ve kütle üzerinde etkisi incelenirken, kinematikte maddenin konumu, hızı gibi nitelikler incelenir. Mekaniğin bir dalı olan kinematikte hareketi doğuran sebepler göz ardı edilir ve hareketin nasıl gerçekleştiği ele alınır. Bu nedenle, kinematik, hareket geometrisi dönüşümü altında değişmezlerin teorisidir (Müller vd, 1963).

Kayakçıların inişlerini en kısa sürede bitirebilmesi için kayak pistinin eğimi nasıl olmalıdır? Buna benzer problem 1696'da Johann Bernoulli'nin aklına geldi. Bernoulli "dik bir düzlemde, iki nokta arasındaki yolun şekli nasıl olmalıydı ki bu noktalar arasındaki mesafe en kısa sürede alınabilsin?" sorusunu soruyordu. Burada, hareketin sürtünmesiz bir ortamda ve sadece yerçekimi altında gerçekleştirileceğini anlıyoruz. Bernoulli yaptığı çalışmalar ve hesaplamalar neticesinde iki nokta arasındaki mesafeyi en kısa sürede alabilecek yolun sikloid eğrisi olacağı bilgisine ulaşmıştır.

Bir doğru (veya bir çember) üzerinde kaymaksızın yuvarlanma hareketi yapan bir çemberin üzerindeki sabit bir  $X$  noktasının geometrik yerini oluşturan eğrilere sikloid tipi eğriler denir.  $X$  noktası çemberin üzerinde, içinde ya da dışında olabilir. Bu  $X$  noktasının çemberin üzerinde olması durumunda  $X$  noktasının geometrik yeri olan eğriye düzgün sikloid eğrisi denir.  $X$  noktası çemberin içinde olabilir. Bu durumda  $X$  noktasının geometrik yeri olan eğriye ilmiksiz sikloid eğrisi denir.  $X$  noktası çemberin dışında olabilir. Bu durumda  $X$  noktasının geometrik yeri olan eğriye ilmikli sikloid eğrisi denir (Şekil 1) (Blaschke ve Müller 1956).



Şekil 1. Düzgün Sikloid Eğrisi

Birbiri üzerinde hareket eden iki çemberin hareketiyle oluşan sikloid tipi eğriler de vardır. Birbiri üzerinde dıştan teğet kalacak şekilde kaymaksızın yuvarlanma hareketi yapan



$r$  ve  $R, r < R$ , yarıçaplı iki çember verilsin.  $r$  yarıçaplı hareketli çember ile bu çember üzerinde bir  $X$  noktasının hareket esnasında çizdiği yörünge eğrilerine episikloid eğrileri adı verilir. Bu iki çember dıştan teğet olabilir. Bu durumda oluşan sikloid eğrisine episikloid eğrisi denir. İki çember içten teğet olması durumunda oluşan sikloid eğrisine hiposikloid eğrisi denir (Blaschke ve Müller 1956).

## 2. Materyal ve Metot

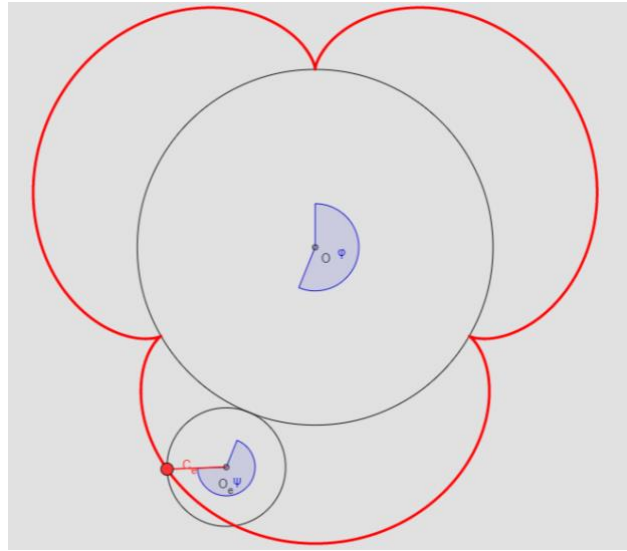
### 2.1. Episikloid

Birbiri üzerinde dıştan teğet kalacak şekilde kaymaksızın yuvarlanma hareketi yapan  $r$  ve  $R, (r < R)$  yarıçaplı iki çember verilsin.  $r$  yarıçaplı hareketli çember ile bir  $P$  noktasının hareket esnasında çizdiği yörünge eğrisine episikloid eğri denir.  $P = (x, y)$  noktalarının geometrik yeri olan eğrinin parametrik denklemleri

$$x = (R + r) \cos t - r \cos \left( \frac{R + r}{r} t \right)$$

$$y = (R + r) \sin t - r \sin \left( \frac{R + r}{r} t \right)$$

biçimindedir (Şekil 2).



Şekil 2. Episikloid Eğrisi

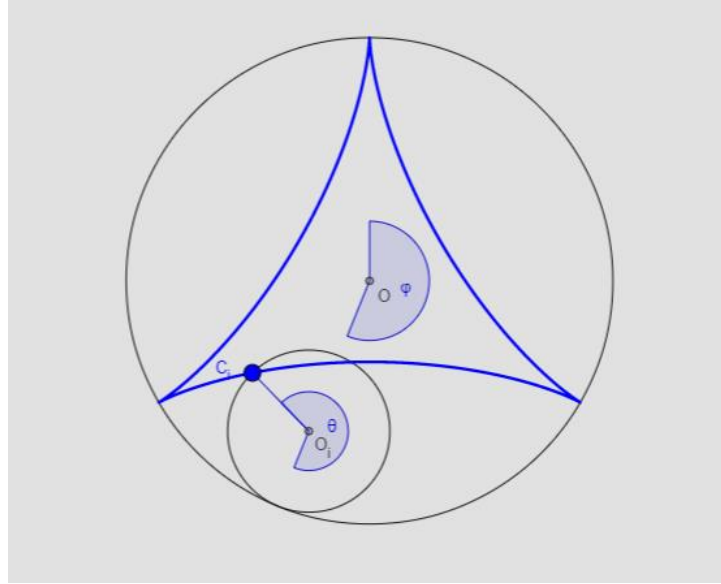
## 2.2. Hiposikloid

Birbiri üzerinde içten teğet kalacak şekilde kaymaksızın yuvarlanma hareketi yapan  $r$  ve  $R$ , ( $r < R$ ) yarıçaplı iki çember verilsin.  $r$  yarıçaplı hareketli çember ile bir  $P$  noktasının hareket esnasında çizdiği yörünge eğrisine hiposikloid eğri denir.  $P = (x, y)$  noktalarının geometrik yeri olan eğrinin parametrik denklemi

$$x = (R - r) \cos t - r \cos \left( \frac{R - r}{r} t \right)$$

$$y = (R - r) \sin t - r \sin \left( \frac{R - r}{r} t \right)$$

biçimindedir (Şekil 3).



Şekil 3. Hiposikloid Eğrisi

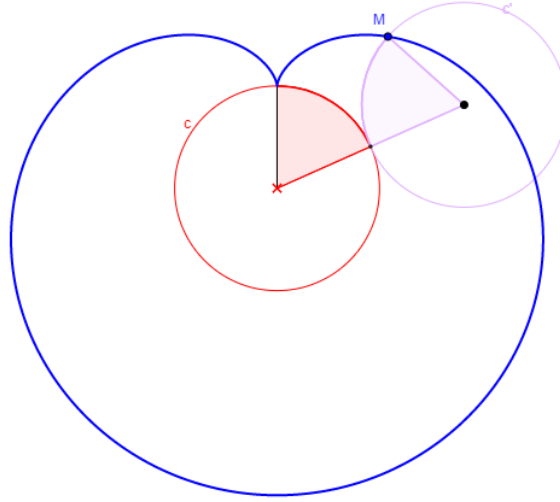
## 2.3. Kardioid

$r$  yarıçaplı sabit bir çember üzerinde kaymaksızın yuvarlanma hareketi yapan aynı yarıçaplı ikinci bir çember üzerindeki herhangi bir  $P$  noktasının hareket esnasında çizdiği yörünge eğrisine kardioid eğri denir.  $P = (x, y)$  noktasının geometrik yeri olan eğrinin parametrik denklemi

$$x = 2r \cos t - r \cos 2t$$

$$y = 2r \sin t - r \sin 2t$$

biçimindedir ( $0 \leq t < 2\pi$ ) (Şekil 4).



Şekil 4. Kardioid Eğrisi

#### 2.4. Düzlemsel hareket için kapalı yörüngeler

$E$  hareketli ve  $E'$  sabit olmak üzere iki düzlemi ele alalım. Bu düzlemlerin koordinat sistemleri arasında  $t$  –parametrelili  $B: E/E'$  direkt hareketini ele alınsın. Sistemlerin sırasıyla orijinleri  $(O, O')$ , öteleme vektörleri  $(OO' = U)$ ,  $(O'O = U')$  ve toplam dönme açısı  $\alpha(t)$  olsun.  $X$  noktasının ait olduğu  $E$  hareketli sisteminin  $E'$  sabit sistemine göre yörüngesi

$$X'(t) = h(t)R(t)X + U'(t) \quad (1)$$

şeklinde tanımlanır. Bu hareketi, sabit ve hareketli sistem arasında zamana bağlı bir dönüşüm olarak düşünülebilir.  $X$  vektörü zamanı ifade eden  $t$  parametresinden bağımsızdır.

(1) denkleminde  $\alpha(t)$  toplam dönme açısı,  $R(t)$   $2 \times 2$  tipinde dönme matrisi, öteleme vektörüne karşılık gelen  $U'(t)$ ,  $2 \times 1$  tipinde bir matris olmak üzere, (1) denklemi matris formunda

$$\begin{pmatrix} x_1'(t) \\ x_2'(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\alpha(t)) & -\sin(\alpha(t)) \\ \sin(\alpha(t)) & \cos(\alpha(t)) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_1'(t) \\ u_2'(t) \end{pmatrix}$$

ve bileşen olarak ise

$$x_1'(t) = \cos(\alpha(t))x_1 - \sin(\alpha(t))x_2 + u_1'(t)$$

$$x_2'(t) = \sin(\alpha(t)) x_1 + \cos(\alpha(t)) x_2 + u_2'(t)$$

şeklinde yazılır (Dathe vd, 2015).

## 2.5. Düzlemsel kinematik ve en az eylem ilkesi

$E/E'$  düzlemsel hareketinde,  $E$  hareketli düzlemine ait bir  $X$  noktasının  $E'$  sabit düzlemindeki  $X'(t)$  yörünge eğrisinin denklemi

$$X'(t) = R(t)X + U'(t)$$

olarak ifade edilebilir. Bu yörünge denklemi öteleme ve dönmeden ibarettir ve yörünge denklemindeki  $t$  zaman parametresini ifade etmektedir. Bu sisteme en az eylem ilkesi uygulanırsa; sistemde yer alan  $m$  kütleli bir noktanın  $X'(t)$  yörünge eğrisi için kinetik enerji formülü

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m (\dot{X}'(t))^2 \quad (2)$$

şeklinde ifade edilir. (2) denklemi hareketli sistemin seçilen noktasına bağımlı olup sistemin başlangıç noktasının seçiminden bağımsızdır. Bu enerji denklemi

$$S = \int_{t_1}^{t_2} E_{kin} dt = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} m (\dot{X}'(t))^2 dt$$

olarak ifade edilir ve bu denklem karakteristik fonksiyon veya enerji fonksiyoneli olarak adlandırılır.  $m = 1$  değeri için bu fonksiyonel

$$S = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} (\dot{X}'(t)^T \dot{X}'(t)) dt$$

olarak ifade edilir.

En az eylem ilkesi,  $S$  nin minimum olmasını gerektirir. Bunun için  $\delta S = 0$  şartı sağlanmalıdır. Burada  $\delta$  varyasyonu göstermektedir. Bu eşitliği sağlayan nokta sabit nokta veya karakteristik nokta olarak adlandırılır. Hız kuadratik formda olduğu için, enerji fonksiyoneli olan  $S$  de  $X$  noktasında bir kuadratik form belirtir. Bundan dolayı  $X_0$  noktasının minimumu tek olacaktır ve bu nokta hareketli sistemin karakteristiği olarak ifade edilir (Dathe vd, 2015).

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Episikloid için uygulaması

$E$  hareketli ve  $E'$  sabit iki düzlemin olmak üzere bu düzlemlerin koordinat sistemleri arasında  $t$  –parametrelili kapalı düzlemsel hareketi ele alınsın.  $E$  hareketli düzleminin  $E'$  sabit düzlemine göre  $B: E/E'$  direkt hareketi, sistemlerin sırasıyla orijinleri  $(O, O')$ , öteleme vektörleri  $(O'O = U)$  ve  $(OO' = U')$ , toplam dönme açısı  $\alpha(t)$ ,  $X$ ,  $E$  hareketli sistemine ait bir nokta olmak üzere bu noktanın  $E'$  sabit sistemine göre yörüngesi

$$X'(t) = R(t)X + U(t) \quad (3)$$

denklemleri ifade edilir. Bu hareket sabit ve hareketli sistem üzerinde zamana bağlı dönüşüm olarak düşünülebilir.

(3) denkleminde  $R(t)$   $2 \times 2$  tipinde dönme matrisini,  $\alpha(t)$  toplam dönme açısını ve  $U(t)$  ve  $U'(t)$  öteleme vektörlerine karşılık gelen  $2 \times 1$  tipinde matrisleri ifade etmektedir. Sırasıyla sabit ve hareketli düzleme ait birer nokta  $X'$  ve  $X$  olmak üzere,

$$X'(t) = \begin{pmatrix} x'_1(t) \\ x'_2(t) \end{pmatrix}, \quad X(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{pmatrix}, \quad U'(t) = \begin{pmatrix} u'_1(t) \\ u'_2(t) \end{pmatrix}, \quad U(t) = \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix}$$

$$R(t) = \begin{pmatrix} (R+r)\cos(\alpha(t)) & r\sin(\alpha(t)) \\ (R+r)\sin(\alpha(t)) & -r\cos(\alpha(t)) \end{pmatrix}$$

ifadelerini kullanarak yörünge denklemini matris formunda

$$\begin{pmatrix} x'_1(t) \\ x'_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R+r)\cos(\alpha(t)) & r\sin(\alpha(t)) \\ (R+r)\sin(\alpha(t)) & -r\cos(\alpha(t)) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Yörünge denkleminde  $a \neq 0$  kabul edilir. Bu sayede sırf öteleme ve sırf dönme durumlarından kaçınılmış olur. Verilen sistemlerin öteleme vektörleri arasında

$$U(t) = -R(t)U'(t)$$

bağıntısı vardır. Bu bağıntı (3) eşitliğinde yerine yazılarak ve yörünge denklemi

$$X'(t) = R(t)(X - U'(t)) \quad (4)$$

şeklinde yeniden ifade edilir

(4) 'de vektörlerin ifadeleri yerine yazılıp  $X(x_1, x_2)$  bileşenleri ile ifade edilirse

$$x'_1(t) = (R+r)\cos(\alpha(t))(x_1 - u'_1(t)) + r\sin(\alpha(t))(x_2 - u'_2(t))$$

$$x'_2(t) = (R+r)\sin(\alpha(t))(x_1 - u'_1(t)) - r\cos(\alpha(t))(x_2 - u'_2(t)).$$

olarak bileşen denklemleri ifade edilir.

Düzlem kinematiğine en az eylem ilkesi uygulandığında,  $m$  kütleli bir nokta, ve bu noktanın yörüngesi  $X'(t)$  olmak üzere kinetik enerji formülü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m (\dot{X}'(t))^2 \quad (5)$$

İfade edilen bu enerji fonksiyonu karakteristik fonksiyon veya enerji fonksiyonu olarak adlandırılan

$$S = \int_{t_1}^{t_2} E_{kin} dt = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} m (\dot{X}'(t))^2 dt$$

eşitliğine karşılık gelir.  $m = 1$  olması durumunda bu ifade

$$S = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} (\dot{X}'(t)^T \cdot \dot{X}'(t)) dt \quad (6)$$

halini alır.

Şimdi  $E$  hareketli düzleminin noktalarının enerjileri hesaplandığında  $E/E'$  düzlemsel hareketinde en az eylem noktası elde edilir. Bu durumda

$$X'(t) = R(t)(X - U'(t))$$

denkleminin  $t$  parametresine göre türevi alınır

$$\dot{X}'(t) = \dot{R}(t)(X - U'(t)) + R(t)(X - \dot{U}'(t)) \quad (7)$$

elde edilir. Bu denklem bileşen formunda ifade edildiğinde

$$\begin{aligned} \dot{x}'_1(t) &= -(x_1 - u'_1(t))(R + r) \sin(\alpha(t)) \dot{\alpha}(t) \\ &\quad + (x_1 - \dot{u}'_1(t))(R + r) \cos(\alpha(t)) \\ &\quad + (x_2 - u'_2(t))(R + r) \cos(\alpha(t)) \dot{\alpha}(t) + (x_2 - \dot{u}'_2(t))r \sin(\alpha(t)) \\ \dot{x}'_2(t) &= (x_1 - u'_1(t))(R + r) \cos(\alpha(t)) \dot{\alpha}(t) \\ &\quad + (x_1 - \dot{u}'_1(t))(R + r) \sin(\alpha(t)) \\ &\quad + (x_2 - u'_2(t))(R + r) \sin(\alpha(t)) \dot{\alpha}(t) - (x_2 - \dot{u}'_2(t))r \cos(\alpha(t)) \end{aligned}$$

olur. (7) ifadesi (6) denkleminde yerine yazılırsa

$$2S(X) = \int_{t_1}^{t_2} \left\{ \left[ \dot{R}(t)(X - U'(t)) + R(t)(X - \dot{U}'(t)) \right]^T \right\} dt$$

ve böylece

$$\begin{aligned} 2S(X) &= \int_{t_1}^{t_2} [(X^T X - X^T U' - U'^T X + U'^T U') I \dot{\alpha}^2 \\ &\quad + (X^T X - \dot{U} X^T + \dot{U}'^T \dot{U}') I \\ &\quad + (X^T X - X^T \dot{U} - U'^T X + U'^T \dot{U}') \dot{R}^T R \\ &\quad + (X^T X - X^T U' - \dot{U}'^T U') \dot{R}^T \dot{R}] dt \end{aligned} \quad (8)$$

olur. Diğer taraftan

$$R(t) = \begin{pmatrix} (R+r)\cos(\alpha(t)) & r\sin(\alpha(t)) \\ (R+r)\sin(\alpha(t)) & -r\cos(\alpha(t)) \end{pmatrix}$$

$$\dot{R}(t) = \begin{pmatrix} -(R+r)\sin(\alpha(t))\dot{\alpha}(t) & r\cos(\alpha(t))\dot{\alpha}(t) \\ (R+r)\cos(\alpha(t))\dot{\alpha}(t) & r\sin(\alpha(t))\dot{\alpha}(t) \end{pmatrix}$$

$$[\dot{R}(t)]^T = \begin{pmatrix} -(R+r)\sin(\alpha(t))\dot{\alpha}(t) & (R+r)\cos(\alpha(t))\dot{\alpha}(t) \\ r\cos(\alpha(t))\dot{\alpha}(t) & r\sin(\alpha(t))\dot{\alpha}(t) \end{pmatrix}$$

olduğundan

$$[\dot{R}(t)]^T R(t) = \dot{\alpha}I(t)$$

ve

$$[\dot{R}(t)]^T \dot{R}(t) = \dot{\alpha}I(t)$$

bulunur. Böylece

$$U(t) = \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix}, \quad [U(t)]^T = (u_1(t) \quad u_2(t))$$

$$\dot{U}(t) = \begin{pmatrix} \dot{u}_1(t) \\ \dot{u}_2(t) \end{pmatrix}, \quad [\dot{U}(t)]^T = (\dot{u}_1(t) \quad \dot{u}_2(t))$$

$$U'(t) = \begin{pmatrix} u'_1(t) \\ u'_2(t) \end{pmatrix}, \quad [U'(t)]^T = (u'_1(t) \quad u'_2(t))$$

$$\dot{U}'(t) = \begin{pmatrix} \dot{u}'_1(t) \\ \dot{u}'_2(t) \end{pmatrix}, \quad [\dot{U}'(t)]^T = (\dot{u}'_1(t) \quad \dot{u}'_2(t))$$

ifadeleri (8) denkleminde yerine yazıldığında

$$2S(X) = \int_{t_1}^{t_2} \left[ \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - (u'_1 \quad u'_2)X + (u'_1 \quad u'_2) \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} \right) I \dot{\alpha}^2 \right. \\ \left. + \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} \dot{u}'_1 \\ \dot{u}'_2 \end{pmatrix} + (\dot{u}'_1 \quad \dot{u}'_2) \begin{pmatrix} \dot{u}'_1 \\ \dot{u}'_2 \end{pmatrix} \right) I \right. \\ \left. + \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} \dot{u}'_1 \\ \dot{u}'_2 \end{pmatrix} - (u'_1 \quad u'_2)X + (u'_1 \quad u'_2) \begin{pmatrix} \dot{u}'_1 \\ \dot{u}'_2 \end{pmatrix} \right) \dot{R}^T R \right. \\ \left. + \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - (\dot{u}'_1 \quad \dot{u}'_2) \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} \right) \dot{R}^T \dot{R} \right] dt$$

ve buradan

$$2S(X) = \int_{t_1}^{t_2} \left[ \left( (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - (u'_1 \quad u'_2) h \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + (u'_1)^2 + (u'_2)^2 \right) I \dot{\alpha}^2 \right. \\ \left. + \left( (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} \dot{u}'_1 \\ \dot{u}'_2 \end{pmatrix} + (\dot{u}'_1)^2 + (\dot{u}'_2)^2 \right) I \right. \\ \left. + \left( (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} \dot{u}'_1 \\ \dot{u}'_2 \end{pmatrix} - (u'_1 \quad u'_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + u'_1 \dot{u}'_1 + u'_2 \dot{u}'_2 \right) \dot{R}^T R \right]$$

$$+ \left( (x_1 \ x_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - (x_1 \ x_2) \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - \dot{u}'_1 u'_1 - \dot{u}'_2 u'_2 \right) \dot{R}^T \dot{R} \Big] dt$$

elde edilir.

Bu eşitlik bileşen formunda

$$\begin{aligned} 2S(x_1, x_2) &= (x_1^2 + x_2^2) \int_{t_1}^{t_2} \dot{a}^2 dt \\ &+ \int_{t_1}^{t_2} [(u'_1)^2 + (u'_2)^2] \dot{a}^2 + \dot{u}'_1{}^2 + \dot{u}'_2{}^2 dt \\ &+ x_1 \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_1 \dot{a}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1 \dot{a} - 2u'_1 \dot{a}] dt \\ &+ x_2 \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_2 \dot{a}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2 \dot{a} - 2u'_2 \dot{a}] dt. \end{aligned} \quad (9)$$

şeklinde ifade edilir.

(9) denkleminde

$$\begin{aligned} H_R &= \int_{t_1}^{t_2} \dot{a}^2 dt \\ H_T &= \int_{t_1}^{t_2} [(u'_1)^2 + (u'_2)^2] \dot{a}^2 + \dot{u}'_1{}^2 + \dot{u}'_2{}^2 dt \\ H_{x_1} &= \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_1 \dot{a}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1 \dot{a} - 2u'_1 \dot{a}] dt \\ H_{x_2} &= \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_2 \dot{a}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2 \dot{a} - 2u'_2 \dot{a}] dt \end{aligned}$$

eşitlikleri yerine yazılırsa

$$2S(x_1, x_2) = (x_1^2 + x_2^2)H_R + H_T + x_1 H_{x_1} + x_2 H_{x_2} \quad (10)$$

şeklinde elde edilir.

$t$  zaman parametresine bağlı olarak (10) denklemi yeniden ifade edilirse, istenilen  $X_0$  noktasının koordinatlarını en az eylem ilkesi yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

(10) denkleminin  $X$  e göre türevi alınır ve sifıra eşitlenirse,

$$\frac{\partial 2S}{\partial X} \Big|_{x_0} = 0 \quad (11)$$

elde edilir. İstenilen karakteristik noktalar (11) eşitliğini sağlayan noktaları tespit ederek bulunur.

(9) denkleminin  $x_1$  ve  $x_2$  ye göre türevleri alınır ve düzenlenirse karakteristik nokta

$$\frac{\partial 2S(x_1, x_2)}{\partial x_1} = 2x_1 \int_{t_1}^{t_2} \dot{a}^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_1 \dot{a}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1 \dot{a} - 2u'_1 \dot{a}] dt \quad (12)$$

ve



$$\frac{\partial 2S(x_1, x_2)}{\partial x_2} = 2x_2 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\alpha}^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} [-2u_2' \dot{\alpha}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2 \dot{\alpha} - 2u_2' \dot{\alpha}] dt \quad (13)$$

şeklinde bileşenler halinde elde edilir.

Burada  $X_0$  noktası, hareketli düzlemde bulunan  $X$  noktasının aksine  $t_1$  ve  $t_2$  zamanlarının bir fonksiyonudur. Burada  $t_1$  ve  $t_2$  integral sınırlarını temsil eden başlangıç ve bitiş zamanlarıdır. (12) ve (13) denklemleri sıfıra eşitlenir ve karakteristik noktanın bileşenleri

$$x_1 = - \frac{\int_{t_1}^{t_2} [-2u_1' \dot{\alpha}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1 \dot{\alpha} - 2u_1' \dot{\alpha}] dt}{2 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\alpha}^2 dt} = - \frac{H_{x_1}}{2H_R}$$

ve

$$x_2 = - \frac{\int_{t_1}^{t_2} [-2u_2' \dot{\alpha}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2 \dot{\alpha} - 2u_2' \dot{\alpha}] dt}{2 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\alpha}^2 dt} = - \frac{H_{x_2}}{2H_R}$$

olarak elde edilir.  $X_0$  noktasının en az eylem noktası olması için  $\frac{\partial^2 S}{\partial X^2} > 0$  olmalıdır. O halde

$$\frac{\partial^2 S}{\partial X^2} = \frac{1}{2} I \int \dot{\alpha}^2 dt = \frac{1}{2} IH_R$$

eşitliği her zaman 0 dan büyük bir değer alacağından  $X_0$  bir karakteristik nokta belirtir.

(9) ifadesinde karakteristik noktanın bileşenleri yerine yazılırsa

$$2S_0(t_1, t_2) = \left[ \left( -\frac{H_{x_1}}{H_R} \right)^2 + \left( -\frac{H_{x_2}}{H_R} \right)^2 \right] H_R + H_T - \frac{H_{x_1}}{H_R} H_{x_1} - \frac{H_{x_2}}{H_R} H_{x_2}$$

elde edilir.

Buradan da en az eylem

$$2S_0(t_1, t_2) = H_T(t_1, t_2)$$

şeklinde ifade edilir.

### 3.2. Hiposikloid için uygulaması

$E$  hareketli ve  $E'$  sabit iki düzlemin olmak üzere bu düzlemlerin koordinat sistemleri arasında  $t$  –parametrelili kapalı düzlemsel hareketi ele alınsın.  $E$  hareketli düzleminin  $E'$  sabit düzlemine göre  $B: E/E'$  direkt hareketi, sistemlerin sırasıyla orijinleri  $(O, O')$ , öteleme vektörleri  $(O'O = U)$  ve  $(OO' = U')$ , toplam dönme açısı  $\beta(t)$ ,  $X$ ,  $E$  hareketli sistemine ait bir nokta olmak üzere bu noktanın  $E'$  sabit sistemine göre yörüngesi

$$X'(t) = R(t)X + U(t) \quad (14)$$

denklemleri ifade edilir. Bu hareket sabit ve hareketli sistem üzerinde zamana bağlı dönüşüm olarak düşünülebilir.

(14) yörünge denkleminde  $R(t)$   $2 \times 2$  tipinde dönme matrisi, toplam dönme açısı  $\beta(t)$ ,  $U(t)$  ve  $U'(t)$  öteleme vektörlerine karşılık gelen  $2 \times 1$  tipinde matrisler, sırasıyla sabit ve hareketli düzleme ait birer nokta  $X'$  ve  $X$  olmak üzere,

$$X'(t) = \begin{pmatrix} x'_1(t) \\ x'_2(t) \end{pmatrix}, \quad U(t) = \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix}, \quad U'(t) = \begin{pmatrix} u'_1(t) \\ u'_2(t) \end{pmatrix}, \quad X(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{pmatrix}$$

$$R(t) = \begin{pmatrix} (R-r) \cos(\beta(t)) & r \sin(\beta(t)) \\ (R-r) \sin(\beta(t)) & -r \cos(\beta(t)) \end{pmatrix}$$

ifadeleriyle matris formunda

$$\begin{pmatrix} x'_1(t) \\ x'_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R-r) \cos(\beta(t)) & r \sin(\beta(t)) \\ (R-r) \sin(\beta(t)) & -r \cos(\beta(t)) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Burada  $\beta \neq 0$  kabul edilir. Bu sayede hareketin sırf öteleme ve sırf dönme durumlarından kaçınılmış olur. Verilen sistemlerin öteleme vektörleri arasında

$$U(t) = -R(t)U'(t)$$

bağıntısı vardır. Bu bağıntı (14) eşitliğinde yerine yazarak yörünge denklemi

$$X'(t) = R(t)(X - U'(t)) \quad (15)$$

şeklinde yeniden ifade edilir

(15) 'de vektörlerin ifadeleri yerine yazılıp  $X(x_1, x_2)$  bileşenleri ile ifade edilirse

$$x'_1(t) = (R-r) \cos(\beta(t)) (x_1 - u'_1(t)) + r \sin(\beta(t)) (x_2 - u'_2(t))$$

$$x'_2(t) = (R-r) \sin(\beta(t)) (x_1 - u'_1(t)) - r \cos(\beta(t)) (x_2 - u'_2(t))$$

olarak bileşen denklemleri ifade edilir.

Düzlem kinematiğine en az eylem ilkesi uygulandığında,  $m$  kütleli bir nokta, ve bu noktanın yörüngesi  $X'(t)$  olmak üzere kinetik enerji formülü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$E_{kin} = \frac{1}{2} m (\dot{X}'(t))^2 \quad (16)$$

İfade edilen bu enerji fonksiyonu karakteristik fonksiyon veya enerji fonksiyonu olarak adlandırılan

$$S = \int_{t_1}^{t_2} E_{kin} dt = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} m (\dot{X}'(t))^2 dt$$

eşitliğine karşılık gelir.  $m = 1$  olması durumunda bu ifade

$$S = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} (\dot{X}'(t))^T \dot{X}'(t) dt \quad (6)$$

halini alır.

$E$  hareketli düzleminin noktalarının enerjileri hesaplandığında  $E/E'$  düzlemsel hareketinde en az eylem noktası elde edilir. Bu durumda

$$X'(t) = R(t)X - U'(t)$$

denkleminin  $t$  parametresine göre türevi alınır

$$\dot{X}'(t) = \dot{R}(t)(X - U'(t)) + R(t)(X - \dot{U}'(t)). \quad (18)$$

elde edilir. Bu denklem bileşen formunda ifade edildiğinde

$$\begin{aligned} \dot{x}'_1(t) &= -(x_1 - u'_1(t))(R - r) \sin(\beta(t)) \dot{\beta}(t) \\ &\quad + (x_1 - \dot{u}'_1(t))(R - r) \cos(\beta(t)) \\ &\quad + (x_2 - u'_2(t))r \cos(\beta(t)) \dot{\beta}(t) - (x_2 - \dot{u}'_2(t))r \sin(\beta(t)) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{x}'_2(t) &= (x_1 - u'_1(t))(R - r) \cos(\beta(t)) \dot{\beta}(t) \\ &\quad + (x_1 - \dot{u}'_1(t))(R - r) \sin(\beta(t)) \\ &\quad + (x_2 - u'_2(t))r \sin(\beta(t)) \dot{\beta}(t) - (x_2 - \dot{u}'_2(t))r \cos(\beta(t)) \end{aligned}$$

olur. (18) ifadesi (17) denkleminde yerine yazılırsa

$$2S(X) = \int_{t_1}^{t_2} \left\{ \left[ \dot{R}(t)(X - U'(t)) + R(t)(X - \dot{U}'(t)) \right]^T \right\} dt$$

ve böylece

$$\begin{aligned} 2S(X) &= \int_{t_1}^{t_2} [(X^T X - X^T U' - U'^T X + U'^T U')I \dot{\alpha}^2 \\ &\quad + (X^T X - \dot{U}X^T + \dot{U}'^T \dot{U}')I \\ &\quad + (X^T X - X^T \dot{U} - U'^T X + U'^T \dot{U}') \dot{R}^T R \\ &\quad + (X^T X - X^T U' - \dot{U}'^T U') \dot{R}^T \dot{R}] dt \end{aligned} \quad (19)$$

olur. Diğer taraftan

$$\begin{aligned} R(t) &= \begin{pmatrix} (R - r) \cos(\beta(t)) & r \sin(\beta(t)) \\ (R - r) \sin(\beta(t)) & -r \cos(\beta(t)) \end{pmatrix} \\ \dot{R}(t) &= \begin{pmatrix} -(R - r) \sin(\beta(t)) \dot{\beta}(t) & r \cos(\beta(t)) \dot{\beta}(t) \\ (R - r) \cos(\beta(t)) \dot{\beta}(t) & r \sin(\beta(t)) \dot{\beta}(t) \end{pmatrix} \\ [\dot{R}(t)]^T &= \begin{pmatrix} -(R - r) \sin(\beta(t)) \dot{\beta}(t) & (R - r) \cos(\beta(t)) \dot{\beta}(t) \\ r \cos(\beta(t)) \dot{\beta}(t) & r \sin(\beta(t)) \dot{\beta}(t) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

olacağından

$$[\dot{R}(t)]^T R(t) = \dot{\beta}I(t)$$

ve

$$[\dot{R}(t)]^T \dot{R}(t) = \dot{\beta}I(t)$$

bulunur. Böylece

$$U(t) = \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix}, \quad [U(t)]^T = (u_1(t) \quad u_2(t))$$

$$\dot{U}(t) = \begin{pmatrix} \dot{u}_1(t) \\ \dot{u}_2(t) \end{pmatrix}, \quad [\dot{U}(t)]^T = (\dot{u}_1(t) \quad \dot{u}_2(t))$$

$$U'(t) = \begin{pmatrix} u'_1(t) \\ u'_2(t) \end{pmatrix}, \quad [U'(t)]^T = (u'_1(t) \quad u'_2(t))$$

$$\dot{U}'(t) = \begin{pmatrix} \dot{u}'_1(t) \\ \dot{u}'_2(t) \end{pmatrix}, \quad [\dot{U}'(t)]^T = (\dot{u}'_1(t) \quad \dot{u}'_2(t))$$

ifadeleri 19 ifadesinde yerlerine yazılırsa

$$\begin{aligned} 2S(X) = \int_{t_1}^{t_2} & \left[ \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - (u'_1 \quad u'_2) X + (u'_1 \quad u'_2) \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} \right) I \dot{\beta}^2 \right. \\ & + \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{pmatrix} + (\dot{u}_1 \quad \dot{u}_2) \begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{pmatrix} \right) I \\ & + \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{pmatrix} - (u'_1 \quad u'_2) X + (u'_1 \quad u'_2) \begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{pmatrix} \right) \dot{R}^T R \\ & \left. + \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - (\dot{u}'_1 \quad \dot{u}'_2) \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} \right) \dot{R}^T \dot{R} \right] dt \end{aligned}$$

ve buradan

$$\begin{aligned} 2S(X) = \int_{t_1}^{t_2} & \left[ \left( (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - (u'_1 \quad u'_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + (u'_1)^2 + (u'_2)^2 \right) I \dot{\beta}^2 \right. \\ & + \left( (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{pmatrix} + (\dot{u}_1)^2 + (\dot{u}_2)^2 \right) I \\ & + \left( (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{pmatrix} - (u'_1 \quad u'_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + u'_1 \dot{u}_1 + u'_2 \dot{u}_2 \right) \dot{R}^T R \\ & \left. + \left( (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - (x_1 \quad x_2) \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - \dot{u}'_1 u'_1 - \dot{u}'_2 u'_2 \right) \dot{R}^T \dot{R} \right] dt \end{aligned}$$

elde edilir.

Bu eşitlik bileşen formunda

$$\begin{aligned} 2S(x_1, x_2) = (x_1^2 + x_2^2) & \int_{t_1}^{t_2} \dot{\beta}^2 dt \\ & + \int_{t_1}^{t_2} [(u'_1)^2 + (u'_2)^2] \dot{\beta}^2 + \dot{u}_1^2 + \dot{u}_2^2 dt \\ & + x_1 \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_1 \dot{\beta}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1 \dot{\beta} - 2u'_1 \dot{\beta}] dt \\ & + x_2 \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_2 \dot{\beta}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2 \dot{\beta} - 2u'_2 \dot{\beta}] dt \end{aligned} \quad (20)$$

şeklinde ifade edilir.

(20) denkleminde

$$H_R = \int_{t_1}^{t_2} \dot{\beta}^2 dt$$

$$H_T = \int_{t_1}^{t_2} [(u_1'^2 + u_2'^2)\dot{\beta}^2 + \dot{u}_1'^2 + \dot{u}_2'^2] dt$$

$$H_{x_1} = \int_{t_1}^{t_2} [-2u_1'\dot{\beta}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1\dot{\beta} - 2u_1'\dot{\beta}] dt$$

$$H_{x_2} = \int_{t_1}^{t_2} [-2u_2'\dot{\beta}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2\dot{\beta} - 2u_2'\dot{\beta}] dt$$

eşitlikleri yerine yazılırsa

$$2S(x_1, x_2) = (x_1^2 + x_2^2)H_R + H_T + x_1H_{x_1} + x_2H_{x_2} \quad (21)$$

şeklinde elde edilir.

$t$  zaman parametresine bağlı olarak (21) denklemi yeniden ifade edilirse, istenilen  $X_0$  noktasının koordinatlarını en az eylem ilkesi yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

(21) denkleminin  $X$  e göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse,

$$\left. \frac{\partial 2S}{\partial X} \right|_{X_0} = 0 \quad (22)$$

elde edilir. İstenilen karakteristik noktalar (22) eşitliğini sağlayan noktaları tespit ederek bulunur.

(20) denkleminin  $x_1$  ve  $x_2$  ye göre türevleri alınır ve düzenlenirse karakteristik nokta

$$\frac{\partial 2S(x_1, x_2)}{\partial x_1} = 2x_1 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\beta}^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} [-2u_1'\dot{\beta}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1\dot{\beta} - 2u_1'\dot{\beta}] dt \quad (23)$$

ve

$$\frac{\partial 2S(x_1, x_2)}{\partial x_2} = 2x_2 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\beta}^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} [-2u_2'\dot{\beta}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2\dot{\beta} - 2u_2'\dot{\beta}] dt \quad (24)$$

şeklinde bileşenler halinde elde edilir.

Burada  $X_0$  noktası, hareketli düzlemde bulunan  $X$  noktasının aksine  $t_1$  ve  $t_2$  zamanlarının bir fonksiyonudur. Burada  $t_1$  ve  $t_2$  integral sınırlarını temsil eden başlangıç ve bitiş zamanlarıdır. (23) ve (24) denklemleri sıfıra eşitlenir ve karakteristik noktanın bileşenleri

$$x_1 = - \frac{\int_{t_1}^{t_2} [-2u_1'\dot{\beta}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1\dot{\beta} - 2u_1'\dot{\beta}] dt}{2 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\beta}^2 dt} = - \frac{H_{x_1}}{2H_R}$$

ve

$$x_2 = - \frac{\int_{t_1}^{t_2} [-2u_2'\dot{\beta}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2\dot{\beta} - 2u_2'\dot{\beta}] dt}{2 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\beta}^2 dt} = - \frac{H_{x_2}}{2H_R}$$

şeklinde elde edilir.  $X_0$  noktasının en az eylem noktası olması için  $\frac{\partial^2 S}{\partial X^2} > 0$  olmalıdır. O halde

$$\frac{\partial^2 S}{\partial X^2} = \frac{1}{2} I \int \dot{\beta}^2 dt = \frac{1}{2} I H_R$$

eşitliği her zaman 0 dan büyük bir değer alacağından  $X_0$  bir karakteristik nokta belirtir.

(20) ifadesinde karakteristik noktanın bileşenleri yerine yazılırsa

$$2S_0(t_1, t_2) = \left[ \left( -\frac{H_{x_1}}{H_R} \right)^2 + \left( -\frac{H_{x_2}}{H_R} \right)^2 \right] H_R + H_T - \frac{H_{x_1}}{H_R} H_{x_1} - \frac{H_{x_2}}{H_R} H_{x_2}$$

bulunur.

Buradan da en az eylem

$$2S_0(t_1, t_2) = H_T(t_1, t_2)$$

şeklinde ifade edilir.

### 3.3. Kardoid için uygulaması

$E$  hareketli ve  $E'$  sabit iki düzlemin olmak üzere bu düzlemlerin koordinat sistemleri arasında  $t$  –parametrelili kapalı düzlemsel hareketi ele alınsın.  $E$  hareketli düzleminin  $E'$  sabit düzlemine göre  $B: E/E'$  direkt hareketi, sistemlerin sırasıyla orijinleri  $(O, O')$ , öteleme vektörleri  $(O'O = U)$  ve  $(OO' = U')$ ; toplam dönme açısı  $\theta(t)$ ;  $X$ ,  $E$  hareketli sistemine ait bir nokta olmak üzere bu noktanın  $E'$  sabit sistemine göre yörüngesi

$$X'(t) = R(t)X + U(t) \quad (25)$$

denklemleri ifade edilir. Bu hareket sabit ve hareketli sistem üzerinde zamana bağlı dönüşüm olarak düşünülebilir.

(25) denkleminde  $R(t)$   $2 \times 2$  tipinde dönme matrisini,  $\theta(t)$  toplam dönme açısını ve  $U(t)$  ve  $U'(t)$  öteleme vektörlerine karşılık gelen  $2 \times 1$  tipinde matrisleri ifade etmektedir. Sırasıyla sabit ve hareketli düzleme ait birer nokta  $X'$  ve  $X$  olmak üzere,

$$X'(t) = \begin{pmatrix} x'_1(t) \\ x'_2(t) \end{pmatrix}, \quad U(t) = \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix}, \quad U'(t) = \begin{pmatrix} u'_1(t) \\ u'_2(t) \end{pmatrix}, \quad X(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{pmatrix}$$

$$R(t) = \begin{pmatrix} 2r \cos(\theta(t)) & r \sin(\theta(t)) \\ 2r \sin(\theta(t)) & -r \cos(\theta(t)) \end{pmatrix}$$

ifadelerini kullanarak yörünge denklemini matris formunda

$$\begin{pmatrix} x'_1(t) \\ x'_2(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2r \cos(\theta(t)) & r \sin(\theta(t)) \\ 2r \sin(\theta(t)) & -r \cos(\theta(t)) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix}$$

şeklinde ifade edebilir.

Yörünge denkleminde  $\theta \neq 0$  kabul edilir. Bu sayede sırf öteleme ve sırf dönme durumlarından kaçınılmış olur. Verilen sistemlerin öteleme vektörleri arasında

$$U(t) = -R(t)U'(t)$$

bağıntısı vardır. Bu bağıntı (25) eşitliğinde yerine yazılarak yörünge denklemi

$$X'(t) = R(t)(X - U'(t)) \quad (26)$$

şeklinde yeniden ifade edilir

(26) 'de vektörlerin ifadeleri yerine yazılıp  $X(x_1, x_2)$  bileşenleri ile ifade edilirse

$$x'_1(t) = 2r \cos(\theta(t)) (x_1 - u'_1(t)) + r \sin(\theta(t)) (x_2 - u'_2(t))$$

$$x'_2(t) = 2r \sin(\theta(t)) (x_1 - u'_1(t)) - r \cos(\theta(t)) (x_2 - u'_2(t))$$

olarak bileşen denklemleri ifade edilir.

Düzlem kinematiğine en az eylem ilkesi uygulandığında,  $m$  kütleli bir nokta, ve bu noktanın yörüngesi  $X'(t)$  olmak üzere kinetik enerji formülü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$E_{kin} = \frac{1}{2}m (\dot{X}'(t))^2 \quad (27)$$

İfade edilen bu enerji fonksiyonu karakteristik fonksiyon veya enerji fonksiyonu olarak adlandırılan

$$S = \int_{t_1}^{t_2} E_{kin} dt = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} m (\dot{X}'(t))^2 dt$$

eşitliğine karşılık gelir.  $m = 1$  olması durumunda bu ifade

$$S = \frac{1}{2} \int_{t_1}^{t_2} (\dot{X}'(t)^T \dot{X}'(t)) dt \quad (28)$$

halini alır.

$E$  hareketli düzleminin noktalarının enerjileri hesaplandığında  $E/E'$  düzlemsel hareketinde en az eylem noktası elde edilir. Bu durumda

$$X'(t) = R(t)X - U'(t)$$

denkleminin  $t$  parametresine göre türevi alınırsa

$$\dot{X}'(t) = \dot{R}(t)(X - U'(t)) + R(t)(X - \dot{U}'(t)) \quad (29)$$

elde edilir. Bu denklem bileşen formunda ifade edildiğinde

$$\dot{x}'_1(t) = -(x_1 - u'_1(t))2r \sin(\theta(t)) \dot{\theta}(t) + (x_1 - u'_1(t))2r \cos(\theta(t))$$

$$+ (x_2 - u'_2(t))r \cos(\theta(t)) \dot{\theta}(t) + (x_2 - u'_2(t))r \sin(\theta(t))$$

$$\dot{x}'_2(t) = (x_1 - u'_1(t))2r \cos(\theta(t)) \dot{\theta}(t) + (x_1 - u'_1(t))2r \sin(\theta(t))$$

$$+ (x_2 - u'_2(t))r \sin(\theta(t)) \dot{\theta}(t) - (x_2 - u'_2(t))r \cos(\theta(t))$$

olur. (29) ifadesi (28) denkleminde yerine yazılırsa

$$2S(X) = \int_{t_1}^{t_2} \left\{ \left[ \dot{R}(t)(X - U'(t)) + R(t)(X - \dot{U}'(t)) \right]^T \right\} dt$$

ve böylece

$$\begin{aligned} 2S(X) = & \int_{t_1}^{t_2} [(X^T X - X^T U' - U'^T hX + U'^T U')I\dot{\theta}^2 \\ & + (X^T X - \dot{U}X^T + \dot{U}'^T \dot{U}')I \\ & + (X^T X - X^T \dot{U} - U'^T X + U'^T \dot{U}') \dot{R}^T R \\ & + (X^T X - X^T U' - \dot{U}'^T U') \dot{R}^T \dot{R}] dt \end{aligned} \quad (30)$$

olur. Diğer taraftan

$$\begin{aligned} R(t) &= \begin{pmatrix} 2r \cos(\theta(t)) & r \sin(\theta(t)) \\ 2r \sin(\theta(t)) & -r \cos(\theta(t)) \end{pmatrix} \\ \dot{R}(t) &= \begin{pmatrix} -2r \sin(\theta(t)) \dot{\theta}(t) & r \cos(\theta(t)) \dot{\theta}(t) \\ 2r \cos(\theta(t)) \dot{\theta}(t) & r \sin(\theta(t)) \dot{\theta}(t) \end{pmatrix} \\ [\dot{R}(t)]^T &= \begin{pmatrix} -2r \sin(\theta(t)) \dot{\theta}(t) & 2r \cos(\theta(t)) \dot{\theta}(t) \\ r \cos(\theta(t)) \dot{\theta}(t) & r \sin(\theta(t)) \dot{\theta}(t) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

olduğundan

$$[\dot{R}(t)]^T R(t) = \dot{\theta} I(t)$$

ve

$$[\dot{R}(t)]^T \dot{R}(t) = \dot{\theta} I(t)$$

bulunur. Böylece

$$\begin{aligned} U(t) &= \begin{pmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \end{pmatrix}, \quad [U(t)]^T = (u_1(t) \quad u_2(t)) \\ \dot{U}(t) &= \begin{pmatrix} \dot{u}_1(t) \\ \dot{u}_2(t) \end{pmatrix}, \quad [\dot{U}(t)]^T = (\dot{u}_1(t) \quad \dot{u}_2(t)) \\ U'(t) &= \begin{pmatrix} u'_1(t) \\ u'_2(t) \end{pmatrix}, \quad [U'(t)]^T = (u'_1(t) \quad u'_2(t)) \\ \dot{U}'(t) &= \begin{pmatrix} \dot{u}'_1(t) \\ \dot{u}'_2(t) \end{pmatrix}, \quad [\dot{U}'(t)]^T = (\dot{u}'_1(t) \quad \dot{u}'_2(t)) \end{aligned}$$

ifadeleri (30) denkleminde yerine yazıldığında

$$2S(X) = \int_{t_1}^{t_2} \left[ \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - (u'_1 \quad u'_2)X + (u'_1 \quad u'_2) \begin{pmatrix} \dot{u}'_1 \\ \dot{u}'_2 \end{pmatrix} \right) I \dot{\theta}^2 \right]$$



$$\begin{aligned}
& + \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} u'_1 & u'_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u}'_1 \\ \dot{u}'_2 \end{pmatrix} \right) I \\
& + \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} u'_1 & u'_2 \end{pmatrix} X + \begin{pmatrix} u'_1 & u'_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u}'_1 \\ \dot{u}'_2 \end{pmatrix} \right) \dot{R}^T R \\
& + \left( X^T X - X^T \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \dot{u}'_1 & \dot{u}'_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} \right) \dot{R}^T \dot{R} \Big] dt
\end{aligned}$$

ve buradan

$$\begin{aligned}
2S(X) &= \int_{t_1}^{t_2} \left[ \left( \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} u'_1 & u'_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + (u'_1)^2 + (u'_2)^2 \right) I \dot{\theta}^2 \right. \\
& + \left( \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{pmatrix} + (\dot{u}_1)^2 + (\dot{u}_2)^2 \right) I \\
& + \left( \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} u'_1 & u'_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + u'_1 \dot{u}_1 + u'_2 \dot{u}_2 \right) \dot{R}^T R \\
& \left. + \left( \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_1 & x_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u'_1 \\ u'_2 \end{pmatrix} - \dot{u}'_1 u'_1 - \dot{u}'_2 u'_2 \right) \dot{R}^T \dot{R} \right] dt
\end{aligned}$$

elde edilir.

Bu eşitlik bileşen formunda

$$\begin{aligned}
2S(x_1, x_2) &= (x_1^2 + x_2^2) \int_{t_1}^{t_2} \dot{\theta}^2 dt \\
& + \int_{t_1}^{t_2} [(u'_1)^2 + (u'_2)^2] \dot{\theta}^2 + \dot{u}'_1{}^2 + \dot{u}'_2{}^2] dt \\
& + x_1 \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_1 \dot{\theta}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1 \dot{\theta} - 2u'_1 \dot{\theta}] dt \\
& + x_2 \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_2 \dot{\theta}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2 \dot{\theta} - 2u'_2 \dot{\theta}] dt
\end{aligned} \tag{31}$$

şeklinde ifade edilir.

(21) denkleminde

$$H_R = \int_{t_1}^{t_2} \dot{\theta}^2 dt$$

$$H_T = \int_{t_1}^{t_2} [(u'_1)^2 + (u'_2)^2] \dot{\theta}^2 + \dot{u}'_1{}^2 + \dot{u}'_2{}^2] dt$$

$$H_{x_1} = \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_1 \dot{\theta}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1 \dot{\theta} - 2u'_1 \dot{\theta}] dt$$

$$H_{x_2} = \int_{t_1}^{t_2} [-2u'_2 \dot{\theta}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2 \dot{\theta} - 2u'_2 \dot{\theta}] dt$$

eşitlikleri yerine yazılırsa

$$2S(x_1, x_2) = (x_1^2 + x_2^2)H_R + H_T + x_1H_{x_1} + x_2H_{x_2} \quad (32)$$

şeklinde elde edilir.

$t$  zaman parametresine bağlı olarak (32) denklemi yeniden ifade edilirse, istenilen  $X_0$  noktasının koordinatlarını en az eylem ilkesi yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır.

(32) denkleminin  $X$  e göre türevi alınır ve sıfıra eşitlenirse,

$$\left. \frac{\partial 2S}{\partial X} \right|_{X_0} = 0 \quad (33)$$

elde edilir. İstenilen karakteristik noktalar (33) eşitliğini sağlayan noktaları tespit ederek bulunur.

(20) denkleminin  $x_1$  ve  $x_2$  ye göre türevleri alınır ve düzenlenirse karakteristik nokta

$$\frac{\partial 2S(x_1, x_2)}{\partial x_1} = 2x_1 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\theta}^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} [-2u_1' \dot{\theta}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1 \dot{\theta} - 2u_1' \dot{\theta}] dt \quad (34)$$

ve

$$\frac{\partial 2S(x_1, x_2)}{\partial x_2} = 2x_2 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\theta}^2 dt + \int_{t_1}^{t_2} [-2u_2' \dot{\theta}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2 \dot{\theta} - 2u_2' \dot{\theta}] dt \quad (35)$$

şeklinde bileşenler halinde elde edilir.

Burada  $X_0$  noktası, hareketli düzlemde bulunan  $X$  noktasının aksine  $t_1$  ve  $t_2$  zamanlarının bir fonksiyonudur. Burada  $t_1$  ve  $t_2$  integral sınırlarını temsil eden başlangıç ve bitiş zamanlarıdır. (34)

ve (35) denklemleri sıfıra eşitlenir ve karakteristik noktanın bileşenleri

$$x_1 = - \frac{\int_{t_1}^{t_2} [-2u_1' \dot{\theta}^2 - \dot{u}_1 - \dot{u}_1 \dot{\theta} - 2u_1' \dot{\theta}] dt}{2 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\theta}^2 dt} = - \frac{H_{x_1}}{2H_R}$$

ve

$$x_2 = - \frac{\int_{t_1}^{t_2} [-2u_2' \dot{\theta}^2 - \dot{u}_2 - \dot{u}_2 \dot{\theta} - 2u_2' \dot{\theta}] dt}{2 \int_{t_1}^{t_2} \dot{\theta}^2 dt} = - \frac{H_{x_2}}{2H_R}$$

olarak elde edilir.  $X_0$  noktasının en az eylem noktası olması için  $\frac{\partial^2 S}{\partial X^2} > 0$  olmalıdır. O halde

$$\frac{\partial^2 S}{\partial X^2} = \frac{1}{2} I \int \dot{\theta}^2 dt = \frac{1}{2} I H_R$$

eşitliği her zaman 0 dan büyük bir değer alacağından  $X_0$  bir karakteristik nokta belirtir.

(31) ifadesinde karakteristik noktanın bileşenleri yerine yazılırsa

$$2S_0(t_1, t_2) = \left[ \left( -\frac{H_{x_1}}{H_R} \right)^2 + \left( -\frac{H_{x_2}}{H_R} \right)^2 \right] H_R + H_T - \frac{H_{x_1}}{H_R} H_{x_1} - \frac{H_{x_2}}{H_R} H_{x_2}$$

elde edilir.

Buradan da en az eylem

$$2S_0(t_1, t_2) = H_T(t_1, t_2)$$

şeklinde ifade edilir.

#### 4. Sonuçlar ve neriler

Dathe ve Gezzi tarafından ifade edilen düzlemsel hareketler için en az eylem ilkesi, bu çalışmada 1 –parametrelili düzlemsel hareket altında bazı özel sikloid tipi eğrileri için ifade edilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ters hareket ve diğer hareket türleri altında farklı eğriler için incelenebilir.

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

#### ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- Müller, H. R., Egesoy, E. ve Oruç, M. (1963). *Kinematik dersleri*. Ankara Üniversitesi.
- Whitman, E. A. (1943). Some Historical Notes on the Cycloid. *The American Mathematical Monthly*. 50(5), 309-31.
- Blaschke, W., & Müller, H. R. (1956). *Ebene Kinematik*. München.
- Dathe, H., Gezzi R., Kubein-Meesenburd D. and Nagerl, H. (2015). Characteristic Point and Cycles in Planar Kinematics with Applcations to Human Gait. *Acta Bioengineering and Biomechanics*. 17, No.1.

## Yeni Nesil Savaş Uçaklarına Yönelik Görev Planlama Sistemi

Ersin ESENLİ<sup>1\*</sup> , Anıl ÖZER<sup>2</sup> , Ömer Faruk SAVAS<sup>3</sup> 

### Öz

İlerleyen teknolojinin askeri havacılık alanına uygulanması ile yeni nesil savaş uçakları geliştirilmeye başlanmıştır. Yeni nesil uçaklar harekât ortamında fark yaratabilecek özelliklere sahip olsalar bile karmaşık sistemlerden oluşmaları nedeniyle bugüne dek hiç olmadığı kadar uçuş öncesi hazırlığa ihtiyaç duymaktadırlar. Bu çalışmada yeni nesil bir uçağa ait görev planlama sisteminin nasıl tasarlanması gerektiği, yeni nesil bir uçağa ait görev planlama sisteminin hangi bileşenlerden oluşması gerektiği incelenmiştir. Çalışma kapsamında yeni nesil bir uçağın sahip olduğu teknolojilerin etkin bir şekilde kullanılabilmesi amacıyla geliştirilmesi gereken görev planlama sisteminin fonksiyonel özellikleri tanımlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Aviyonik, Görev, Planlama, Frekans, Data-link, Harekât, Pilot, Prova, Sunucu.

## Mission Planning System for Next Generation Jet Fighter

### Abstract

With the adaption of advanced technology to the military aviation, next generation air fighters have been started to be developed. Even though the new generation aircraft have features that can make a difference in the operational environment, they need pre-flight preparation more than ever because of their complex architecture. In this study, the innovations brought by the mission planning of a next-generation aircraft, what the components of the mission planning system should be and how they should be constructed are discussed. Within the scope of the study, the functional features of the mission planning system, which should be developed in order to use the technologies of a next-generation aircraft effectively, are defined.

**Keywords:** Avionic, Mission, Planning, Frequency, Data-link, Operation, Pilot, Rehearsal, Server.

<sup>1</sup> Milli Savunma Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği, İstanbul, Türkiye, [ersinesenli@gmail.com](mailto:ersinesenli@gmail.com)

<sup>2</sup> Milli Savunma Üniversitesi, Elektronik Mühendisliği, İstanbul, Türkiye, [ozer.anil@gmail.com](mailto:ozer.anil@gmail.com)

<sup>3</sup> MSc, Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri, İzmir, Türkiye. [omerfaruk.savas@mezun.deu.edu.tr](mailto:omerfaruk.savas@mezun.deu.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

**Geliş/Received:** 19.12.2023

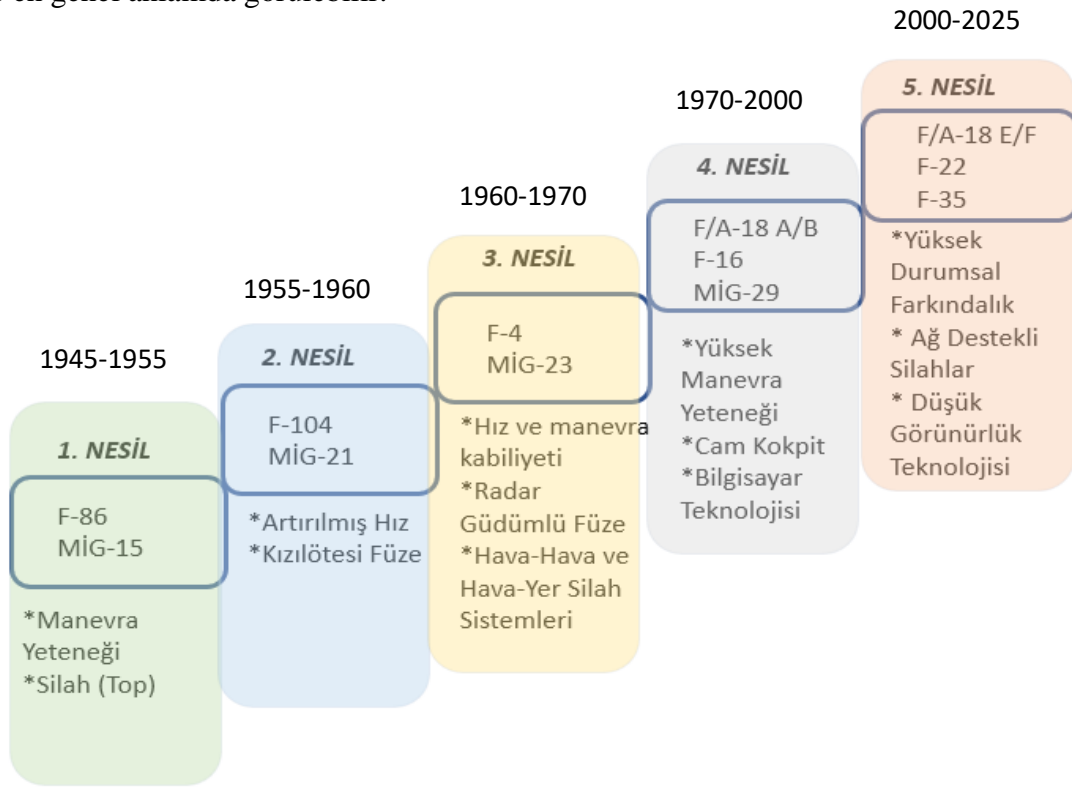
**Kabul/Accepted:** 27.03.2024

**Yayın/Published:** 18.06.2024

## 1. Giriş

Uçaklar çok uzun zamanlardan itibaren harekât alanlarının vazgeçilmezleri olmuşlardır. Gelişen teknolojiyle beraber üstlendikleri roller değişmiş ve bununla birlikte önemleri de sürekli artmıştır. Üretilen her yeni teknolojinin uçaklara entegrasyonu ile savaş uçaklarının üstlendiği roller ve nesilleri değişmiştir. İlk jet motorlu birinci nesil uçaklardan, günümüzde geliştirmeleri devam eden beşinci nesil savaş uçaklarına geçilmiştir (Güntürkün, 2022).

Uçak üreten devletler ve firmalar tarafından savaş uçaklarının nesilleri hakkında genel bir geçiş standardı bulunmasa da hemen hepsinin kabaca hem fikir olduğu nesil geçiş süreci kabaca ifade edilecek olursa; geliştirilen yeni bir teknolojinin (aviyonik, mühimmat, RADAR vs.) mevcut uçaklara kullanmış olduğu teknoloji kısıtları nedeniyle entegre edilememesi halinde bu teknolojinin kullanılabileceği yeni bir uçak geliştirilmesi durumunda bir üst nesile geçiş yapıldığı şeklinde değerlendirilebilir (Martinic, 2015). Aşağıda savaş uçaklarının gelişimi ve entegre edilen yeni teknolojiler en genel anlamda görülebilir.



Şekil 1. Jet Uçaklarının Gelişimi (Martinic, 2015)

Günümüzde geliştirilmekte olan ve muharebe ortamında hava üstünlüğü açısından fark yaratan yeni nesil uçakları kendinden önceki nesilden ayıran birçok teknolojik özelliklerle donatılmıştır. Bu özelliklere örnek verecek olursak; Düşük Görünürlük (Matthew, 1996), RADAR, Kızılötesi Sensörler

(URL-1, 2024), Durumsal Farkındalık (Güntürkün, 2022), Elektronik Karşı Tedbir ve Elektronik Karıştırma gibi teknolojileri sayabiliriz (Layton, 2017).

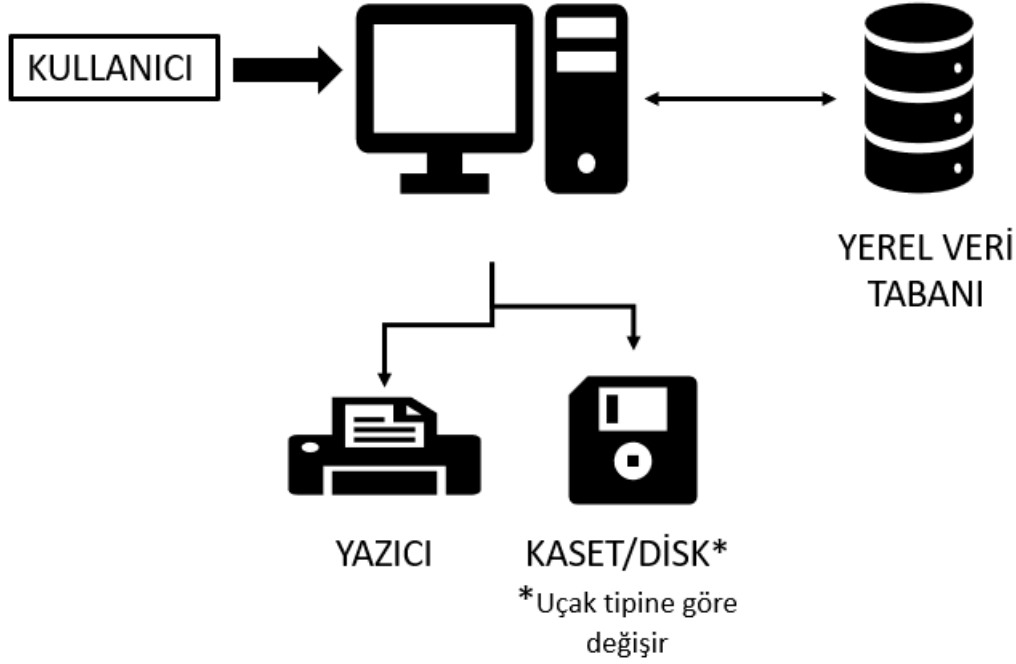
Yukarıda saydığımız teknolojileri barındıran yeni nesil bir uçak, harekât ortamında etkili bir aktör gibi görünse de sonuçta sadece teknolojik olarak gelişmiş elektronik donanımları üzerinde barındıran uçan bir platformdur. Hava araçlarının sahip olduğu muharebe yeteneklerini etkili bir şekilde kullanabilmesi gerek hava gerekse müşterek harekâtlarda yeteneklerini en verimli biçimde kullanabilmesi için harekât öncesinde bir görev planlama sürecine ihtiyaç duymaktadır (Daley, 2019). Uçuştan önce yapılan etkili bir planlama ile pilotun uçuş esnasında karşılaşılabileceği her türlü olay ve bu olaylar karşısında alacağı tedbirler ve uygulama usulleri yerdeyken öngörülebilir / kararlaştırılabilir. Bu durumda pilotun durumsal farkındalığı artırılarak görevin başarılı bir şekilde tamamlanması sağlanabilir (Quttineh, 2012). Etkili bir görev planlanması yapılabilmesi için bakım personelinin uçağı hazırlaması (Kozanidis, 2010), istihbarat personelinin görev hakkında bilgileri hazırlaması (Urings, 1986), muhabere personelinin telsiz bilgilerini ayarlaması, mühimmat konfigürasyonunu yapan personelin göreve yönelik mühimmatları yüklemesi, pist sorumlularının pistin faaliyetini sağlması ve hava sahası kontrol personelinin gerekli bildirimleri yapması gibi birden fazla disiplini içeren süreçlerin çok iyi bir şekilde koordine edilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla etkili bir planlama süreci; karar vericilerden pilotlara, yer destek personelinin bakım personeline, pist aydınlatmalarından bilgi sistem altyapısına kadar tüm unsurları kapsamaktadır.

Yeni nesil savaş uçaklarının gelişmiş aviyonik yapıları, üzerlerine yüklenen görev bilgisayarlarının karmaşık yetenekleri ve platformların hava harekâtında üstlenmiş oldukları çeşitli görevler ile bu görevlere özgü parametreler hem üretici hem de kullanıcı ülkeler tarafından stratejik bilgiler olarak değerlendirildiğinden dolayı, ilgili bilgilerin genel erişime açık kaynaklarda yer alması nadirdir. Bahsi geçen sınırlılık, söz konusu teknolojilerle ilgili akademik ve uygulamalı araştırmaların temelini oluşturan kaynak materyalin erişilebilirliğini ciddi şekilde kısıtlamaktadır. Bu araştırma, mevcut literatürde ki bu boşluğu doldurmayı hedeflerken, açık kaynaklardan temin edilen sınırlı sayıdaki bilgilere ve ayrıca, alandaki derinlemesine uzmanlığa sahip bireylerle yürütülen kapsamlı görüşmeler neticesinde elde edilen değerli görüş ve yorumlara dayanmaktadır. Görüşmeler hem akademik hem de sektör el perspektiften zengin iç görüler sunmuş ve araştırmanın kapsamını genişletmiştir. Dolayısıyla, elde edilen bulguların ve sunulan önerilerin, söz konusu kısıtlamalar ışığında değerlendirilmesi gerekmektedir. Araştırma, mevcut zorluklara rağmen, yeni nesil savaş uçaklarının görev planlama sistemleri üzerine kritik analizler ve öneriler sunarak bilimsel literatüre katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

Bu çalışma kapsamında önceki nesil savaş uçaklarında kullanılmakta olan görev planlama sistemleri ile yeni nesil savaş uçakları için geliştirilmekte olan görev planlama sistemleri yakın hava desteği görev planlaması açısından değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Görev planlama sistemi işlevsel özellikleri kapsamında genel olarak, icra edilecek görev kapsamında ihtiyaç duyulan bilgilerin uçuş öncesinde oluşturulması ve uçuş esnasında pilot üzerindeki iş yükünün azaltılmasını hedeflemektedir. Eski sistemler ve hatta günümüzde kullanılmaya devam eden sistemlerden bazılarında, rota planlaması hesap makinesi ve cetvel gibi aletlerin kullanıldığı, basılı (harita, kılavuz, resimler vs) veriler olarak hazırlanmaktadır (Neujahr vd, 2003). Basılı veriler üzerinden icra edilen görev planlama sistemleri zamanla Şekil 2’de Basit Bir Görev Planlama Sistemi Şemasında gösterildiği gibi bilgisayarın yerel diskinde bulunan veri tabanlarının kullanılarak görev planlanmasına, yazıcıdan çıktı alınmasına ve uçağın özelliğine göre uçağa yüklenecek şekilde harici ortamlara taşınmasına dönüşmüştür.



Şekil 2. Basit Bir Görev Planlama Sistemi Şeması

Uçaklardaki aviyonik mimari ve veri iletişim teknolojilerinde meydana gelen teknolojik gelişmeler görev planlama sistemlerinin de dönüşümünü zorunlu kılmıştır. Görev planlama sistemleri uçuş esnasında kullanılacak verilerin uçuş öncesinde işlendiği, değiştirildiği ve filtrelendiği sistemlere dönüşmüşlerdir. Aviyonik sistemlerin artan karmaşıklığı ve özellikle arazi tabanlı bilgilerin işlenmeye başlanması daha gelişmiş görev planlama sistemlerine olan ihtiyacı artırmıştır (AGARD-296, 1991). Sistemlerin karmaşıklığından bağımsız olarak etkili bir görev planlama sistemi aşağıda Tablo 1 Görev Planlama Sistemi Temel Özelliklerinde gösterilen özelliklere sahip olmalıdır.

**Tablo 1.** Görev Planlama Sistemi Temel Özellikleri.

Görev Planlama Sisteminin Temel Gereksinimleri		
Planlama Zamanını Azaltmalı	Kaçınma Şansını Artırmalı	Kaynak Yönetimini Geliştirmeli
Planlama İş Yükünü Azaltmalı	Koordinasyonu Artırmalı	Birlikte Çalışabilirlik Seviyesini Artırmalı
Taarruz Başarısını Artırmalı	Uçuş Güvenliğini Artırmalı	

Tablo 1’de belirtilen özellikler bütün görev planlama sistemleri için temel özellikler olmasının yanında icra edilecek görevlere göre önem dereceleri değişmektedir (AGARD-296, 1991). Bu özelliklerin önceliği icra edilecek göreve göre Tablo 2’de gösterilmiştir.

**Tablo-2 :** Görevlere Göre Öncelik Tablosu. (AGARD-296, 1991)

Yetenek	Hava Savunma Görevi	Yakın Hava Desteği Görevi	Hava Tecrit Görevi
Planlama Zamanını Azaltmalı		✓	
Planlama İş Yükünü Azaltmalı			✓
Taarruz Başarısını Artırmalı	✓	✓	✓
Kaçınma Şansını Artırmalı	✓	✓	✓
Koordinasyonu Artırmalı		✓	✓
Uçuş Güvenliğini Artırmalı	✓		✓
Kaynak Yönetimini Geliştirmeli			✓
Birlikte Çalışabilirlik Seviyesini Artırmalı	✓	✓	✓

**Hava Savunma Görevleri;** Düşman hava harekâtının etkinliğini azaltmak veya tamamen önlemek amacını taşımaktadır. Bu görevlerde inisiyatif (üstünlük) düşmandadır. Ve planlamanın çoğunluğu uçuş esnasında gerçekleştirilir. Bu nedenle görev öncesi planlamada birlikte çalışabilirlik, uçuş güvenliği, taarruz başarısı ve kaçınma daha kritik rol oynamaktadır.

**Yakın Hava Desteği Görevleri;** Bir uçuş paketine sağlanan desteği ifade etmekte ve uçuş öncesi planlama, taarruz başarısı, kaçınma, destek verilen uçuş paketi ile koordinasyon kritik olarak değerlendirilmektedir (Garret, 1990).

**Hava Tecrit Görevleri;** Uçuş öncesi planlamaya ayrılan zaman dışında diğer bütün bileşenlerin kritiklik seviyesi yüksektir (AGARD-296, 1991).

Hali hazırda kullanılan veya geliştirilmekte olan görev planlama sistemleri, aşağıda belirtilen performans özelliklerine göre değerlendirilebilir. Bu özellikler görev planlama sistemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılmaktadır [(STANAG 3700, 1985). NATO Tactical Air Doctrine – ATP-33].



Yapılan çalışma kapsamında Yakın Hava Desteği Görevi için yukarıda belirtilen performans özelliklerinin kritikliği incelendiğinde;

**Birlikte Çalışabilirlik;** yakın hava desteği görevlerinin başarılabilmesi için ortak bir bilgi sistemi kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır (AGARD-313, 1992). Görevin planlama aşamasında istihbarat verilerinin gönderilmesi, IFF (identification friend or foe – dost düşman sorgulama sistemi) sistemi entegrasyonu, dost unsurların bilgileri gibi bilgilerin görevi icra edecek olan tüm unsurlar tarafından aynı şekilde kullanılabilmesidir.

**Muhabere;** muhabere yani haberleşme görev planlamanın çekirdek gereksinimlerinden birisidir (AGARD-313, 1992). Yakın Hava Desteği görevi esnasında kullanılacak kanalların emisyon açısından dikkatli planlanması gerekmektedir. Kullanılacak veri transfer protokolleri ve mesaj formatları her unsur tarafından kullanılabilir özellikte planlanmalıdır.

**Zaman;** yakın hava desteği görevlerinde zaman planlama 24 saat olabileceği gibi 5 dakika da olabilir. Mevcut teknoloji ile hızlı bir planlama ihtiyacı olduğunda, birçok değişken parametreyi göz önünde bulundurduğumuzda etkisi arzu edilen seviyede olamayabilir. Bu nedenle planlama zamanı uzayabilmektedir (Urings, 1986). Buradaki beklenti ise yerde harcanan birkaç dakikanın uçuş esnasında birkaç saniye kazandırmasıdır.

**Esneklik;** planlama, görev esnasında meydana gelen bir son dakika değişikliğine uyum sağlayabilmelidir. Görevin planlanması aşamasında gelen farklı bir bilgi hızlı bir şekilde planlamaya dahil edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut sistemlerde esneklik pilotun harita veya resme hızlı bir bakış atması ve kafasında yeni senaryoyu çözümlemesi şeklinde gerçekleşmektedir. Esnekliğe ihtiyaç duyulan bir başka önemli nokta ise değişen bir bilginin pakete dâhil olan diğer unsurlar tarafından göz önünde bulundurulma ve görev planına dâhil edilme durumudur.

**Kullanıcı Kolaylığı;** mevcut görev planlama sistemlerinin bir kısmında halen kalem, harita ve saatlerle yapılmaktadır. Saldırı rotaları harita üzerinde kontrol ve nirengi noktaları olarak işaretlenmektedir. Bilgisayar üzerinde yapılanların ise uçak sistemleri ile bir entegrasyonu bulunmadığından görev planlama sürecini yavaşlatmaktadır. Süreci hızlandırabilmek ve sorti başarısını artırabilmek için uçak sistemleri ile uyumlu bir görev planlama sistemi geliştirilmelidir.

**Görev Provası;** mevcut görev planlama sistemlerinde görev provası sadece pilot briefingleri ve harita üzerinde yapılan çalışmalar ile yapılabilmektedir (AGARD-313, 1992).

**Çakışma Analizi;** çakışma analizi hareket seviyesinden önce operasyonel seviyede planlanmaktadır. Genellikle dost unsurlara ait silah sistemlerinin ve uçakların konumları veya kaplama alanları dikkate alınmaktadır (AGARD-296, 1991). Harekât sahasında kullanılacak uçuş koridorları ve frekanslar gibi konular kontrol edilmektedir. Mevcut sistemlerde çakışma analizi haritalar üzerinde kontrol edilmektedir.

**Veri Tabanı;** mevcut sistemler genel olarak merkezi bir veri tabanına sahip değiller bu nedenle herhangi bir ortak güncelleme ihtiyacı duymazlar. Ancak ortak görevlerde kullanılan veri tabanlarının aynı bilgileri içerdiğinin kontrolü bir operatör tarafından yapılmalıdır. Görev planlaması esnasında ihtiyaç duyulan veriler Tablo 3'te belirtilmiştir (AGARD-296, 1991).

**Tablo 3.** Görev Planlama Kullanılan Veriler. (AGARD-296)

	Görev Planlama İçin Gerekli Bilgiler	Görev Planlamadan Uçağa Aktarılan Bilgiler
<b>Coğrafi ve Meteorolojik</b>		
Arazi	✓	✓
Kültürel Yerler	✓	✓
Resim	✓	✗
Hava Durumu Verisi	✓	✓
<b>Dost Ünsur Verileri</b>		
Pistler	✓	✓
Hava Araçları	✓	✓
Tip Bilgisi	✓	✓
Özel Uçak Bilgisi	✓	✓
Zafiyet Modeli	✓	✗
Uçak Durumları	✓	✗
Personel Durumları	✓	✗
Silah Özellikleri	✓	✓
IFF ve Muhabere	✓	✓
Diğer Veriler	✓	✓
<b>Görev ve Taktik Verileri</b>		
Planlanmış Görevler	✓	✗
Rota/Koridor Bilgileri	✓	✓
Taktik ve Angajman Kuralları	✓	✗
<b>Düşman Ünsur Verileri</b>		
Tehdit Verisi (Uçak)	✓	✗
Tehdit Verisi (Silah)	✓	✗
Tehdit Konumu	✓	✓
Taktikler	✓	✗
Hedef Konumu	✓	✓

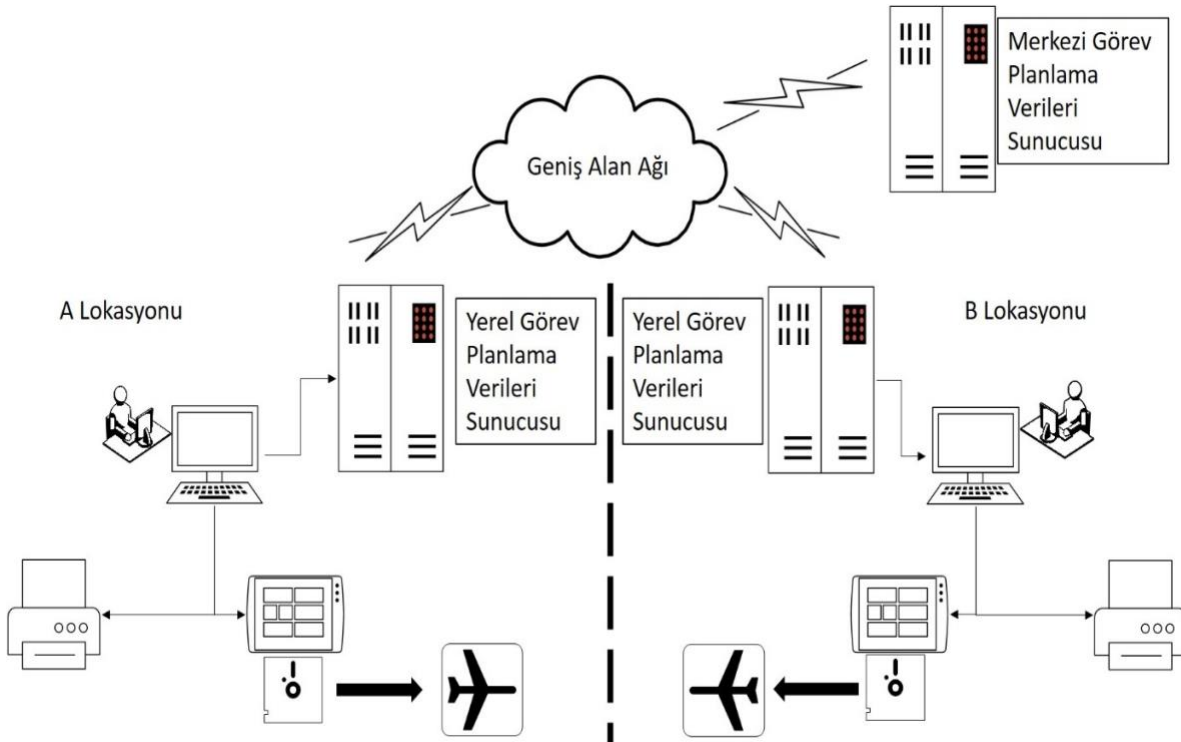
**Gelişme Potansiyeli;** kısa vadede en basit tanımla veri yoluna sahip uçaklara ait görev planlama sistemlerinin geliştirilme imkânı bulunmaktadır. Aviyonik sistemlerde oluşacak gelişmeler

çerçevesinde uçağa özgü sistemlere yönelik geliştirmeler yapılabilir. Ülkeler tarafından kendi uçaklarına ait görev planı geliştirme çalışmalarına ihtiyaçları bulunmaktadır.

Yukarıda, Yakın Hava Desteği görevi maksadıyla kullanılmakta olan uçaklar göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır (AGARD-296, 1991). Mevcut görev planlama sistemleri uçak modeli ve kullanım amacı açısından farklılık gösterebilmekte ancak genel anlamda yukarıda belirtilen ifadeler tüm uçak tipleri açısından geçerliliğini korumaktadır.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Eski nesil uçakların teknolojik sınırlılıkları nedeniyle pilot gerekli ayarlamaların bir kısmını manuel olarak uçak üzerinde yapmakta ve seyrüsefer bilgileri gibi bazı bilgileri basılı haritalar üzerinde takip etmekteydi. Ancak gelişen teknolojiler ile artık uçakların aviyonik sistemleri ve görev bilgisayarları pilot tarafından yerde kurgulanabilmekte ve böylece görev yükü azaltılabilmektedir. Yeni nesil savaş uçaklarına yönelik olarak geliştirilmekte olan görev planlama sistemleri gelişen aviyonik teknolojilerini kapsayacak şekilde tasarlanmaktadır. Pilotun iş yükünü azaltmak amacıyla yapay zekâ gibi teknolojiler kullanılarak işlem sürecini otomatikleştirmek ve hızlandırmak mümkündür. Gelişen bilgisayar ve ağ teknolojilerinin sağlamış olduğu faydalar kapsamında görev planlama sistemlerine ait veriler ortak bir bilgi sistem altyapısında işlenebilir, depolanabilir ve dağıtılabılır hale gelmiştir.



Şekil 3 Yeni Nesil Görev Planlama Sistemi Mimarisi

Görev planlama uygulamalarının etkin bir şekilde kullanılabilmesi için Şekil 3’de gösterildiği gibi farklı lokasyonlarda kurulu olan sistemler merkezi olarak yönetilen sistem üzerinden kullanacağı verileri indirerek yerel kullanıcılara daha hızlı hizmet verecek şekilde kurgulanmalıdır.

NATO Taktik Hava Dokitrini’nde (STANAG 3700, 1985) tanımlanan ve bu bölümde bahsedilen görev planlama sistemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesinde kullanılan özellikler yeni nesil uçaklar için geliştirilen görev planlama sistemleri için de geçerlidir. Bölüm-2’de mevcut sistemlere yönelik olarak değerlendirilen özellikler bu bölümde yeni nesil uçaklar için geliştirilmekte olan görev planlama sistemleri yakın hava desteği görevleri kapsamında değerlendirilmektedir.

**Birlikte Çalışabilirlik;** aynı donanım ve uygulama versiyonu kullanımı ile kullanıcılar ortak veriyi kullanmalıdır. Sistemler arası entegrasyon sağlanmasından dolayı görev planlama sisteminin girdi ve çıktıları içerikleri değişse dahi bir aynı formatta olmalıdır.

**Muhabere;** muhabere ayarları yeni versiyon görev planlama sistemlerini de en kritik aşamalarından bir olmaya devam etmektedir. İletişim ve veri linklerine ait yapılandırmaların uçuş öncesinde görev planlama sistemi ile hazırlanıp uçağa yüklenmesi Komuta, Kontrol ve Muhabere (C<sup>3</sup> Communication, Command and Control) sisteminin etkinliğini artıracaktır. Yakın hava desteği verilecek dost unsurlarla kurulacak ortak muhabere düzeni kurgulanabilmeli ve düşman unsurlara ait bilgiler uçuş esnasında hava ve yer unsurlarıyla otomatik olarak paylaşılabilir.

**Zaman;** etkin görev planlaması oldukça az zaman alan bir işlemdir. Askeri görevlerde ise zaman en kısıtlı olan faktördür. Bölüm-2’de belirtilen görevler incelendiğinde hava önleme görevlerinde saat seviyesinde zaman varken, yakın hava desteği görevlerinde bu süre dakikalar ile kısıtlıdır (AGARD-296, 1991). Bu nedenle yeni sistemler uçuşun herhangi bir aşamasında zaman bilgisini ve görev planlamanın hazırlanması aşamasındaki zaman kısıtını karşılayabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

**Esneklik;** gelecekte de görev planlama sistemini önemli bir özelliği olmaya devam edecektir (Quttineh, 2012). Geliştirilecek sistemlerin tek merkezden yönetilen dağıtık bir mimaride geliştirilmesi durumunda sistemde meydana gelebilecek sorunlara daha hızlı bir çözüm bulunabilecektir. Görev esnasında son anda meydana gelen bir değişiklik görev planlama sistemine yansıtılmalı ve böylece pilotun gelen değişikliğe hızlı tepki vermesi sağlanmalıdır.

**Kullanıcı Kolaylığı;** geliştirilmekte olan görev planlama sistemlerinde kağıt ve kalemin rolünün giderek azalması gerekmektedir. Entegrasyonun desteklenmediği, merkezi yönetilen sistemler yerdeki görev planlama sürelerini azaltacak veri girişlerini (frekans, rota, IFF Mod vs) otomatikleştirecek, kullanıcının ihtiyaçlarını karşılayacak arayüzler tasarlanmalıdır.

**Görev Provası;** planlanan bir görevi veya bir kısmının prova edilmesi görevin doğru planlanıp planlanmadığının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir. Ortak görevlerde birden çok uçağın olduğu

paketlerde görev planlama sistemi paketindeki diğer uçakları da görev provası ekranında gösterebilecek şekilde tasarlanmalıdır (Reus A, 2021).

**Çakışma Analizi;** görevin planlanması aşamasında mevcut sistemlere ilave olarak düşman unsurların konumları, kaplama alanları ve uçuş koridorları gibi bilgiler geliştirilmekte olan görev planlama sistemlerine entegre edilmelidir (Gluck, 2019). Geliştirilen görev planlama sistemleri dost ve düşman unsurlara ait bilgileri içerecek ve planlama aşamasında kullanıcıya gösterebilecek şekilde tasarlanmalıdır.

**Veri Tabanı;** mevcut sistemlere ilave olarak coğrafi, meteorolojik, dost/düşman unsurlar, görev ve taktiklerin planlanması için gereken bilgilerin içerildiği merkezi veri tabanı oluşturulmalıdır. Görev planlama sistemi, farklı arayüzlerin bu verilere erişip oluşturduğu çıktılarının ihtiyaç halinde başka bir arayüz için girdi oluşturacak şekilde kurgulanması gerekmektedir (Gluck, 2019).

**Gelişme Potansiyeli;** geliştirilen görev planlama sistemleri donanım, yazılım ve birlikte çalışabilirliğin kolayca sağlanabileceği sistemler olarak tasarlanmalıdır. Yapay zeka destekli çözümler planlanmalı ve uçuş esnasında, yerde planlanan görevin uçak sistemleri üzerinden değiştirilmesine olanak verecek şekilde tasarlanmalıdır.

Gelecek nesil uçaklara yönelik olarak hazırlanacak görev planlama sistemlerini genel olarak özetleyecek olursak planlamanın bilgisayar ortamında bir ağ üzerinde yapılmasının, ortak veri tabanlarının ve arayüzlerin kullanılmasının sistemin etkinliğini artıracak değerlendirilmiştir.

Bu çalışma kapsamında mevcut görev planlama sistemleri taktik seviye görevlerden biri olan yakın hava desteği görev planlaması kapsamında ele alınmıştır. Konu hakkında yayımlı akademik çalışmaların oldukça az olması bu çalışmanın en zorlayıcı kısmı olmuştur. NATO Taktik Hava Doktrininde (NATO Tactical Air Doctrine – ATP-33) belirtilen dokuz temel özellik (Birlikte Çalışabilirlik, Muhabere, Zaman, Esneklik, Kullanıcı Kolaylığı, Görev Provası, Çakışma Analizi, Veri Tabanı ve Gelişme Potansiyeli) üzerinden yapılan inceleme sonucu mevcut görev planlama sistemleri kullanıcı iş yükü odaklı yürütülmektedir. Planlamanın çoğu çıktı halindeki haritalar ve resimler üzerinden yapılmakta, yakıt ve zaman hesaplamaları kullanıcı tarafından hesaplanarak planlanmaktadır (Gillott, 1998). Yapılan bu planlamalar uçağa el ile girilmektedir.

Yeni nesil uçakların gelişmiş aviyonik teknolojileri sayesinde birçok sistemin uçuş öncesinde planlanabilmesine olanak sağlamıştır. Gelişen ve genişleyen harekât ortamına uçuş esnasında kısa sürede uyum sağlayabilmek için önceden belirli değerlerin önceden planlanması gerekmektedir. Dijital haritalar, tehdit bölgeleri, otomatik yakıt ve varış zaman hesaplama, RADAR bilgileri, otomatik çakışma analizi vb gibi dinamik değişkenler uçuş öncesinde planlanabilmeli ve görev provası yapılarak görevin etkinliği değerlendirilebilmelidir.

Mevcut görev planlama sistemlerinin temel özelliklerinin karşılaştırması Tablo 4'te, sahip oldukları veri tabanlarına yönelik karşılaştırma Tablo 5'te gösterilmiştir (AGARD-296, 1991).

**Tablo 4.** Görev Planlama Sistemleri Fonksiyonel Karşılaştırma.

Ülke	Uygulama	Hava Aracı	Görünürlük Analizi	Rota Planlama	Mühimmat Planlama	Performans Analizi
AMERİKA	AAFMP	F-15, F-16, F-111	✓	✓	✓	✓
İNGİLTERE	AMPA	HARRIER G7, TORNADO	Maskeleye	✓	✓	✓
AMERİKA	AMPS	AH-64, CH-73	✓	✓	✓	✓
HOLLANDA	CAMPAL	F-16	✓	✓	✓	✓
FRANSA	CINNA 3	MIRAGE III, V, JAGUAR	x	✓	✓	✓
FRANSA	CIRCLE 2000	MIRAGE2000M	x	✓	✓	✓
İTALYA	MARPLES	AMX	x	✓	x	✓
AMERİKA	TAMPS	F-14, F-18	✓	✓	✓	✓
AMERİKA	TEAMS	EA-6B	✓	✓	✓	✓

**Tablo 5.** Görev Planlama Sistemleri Veri Tabanları.

Ülke	Uygulama	DTED	Fotoğraf	İstihbarat	Operasyon	Radar	Muhabere	Hava Durumu
AMERİKA	AAFMP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
İNGİLTERE	AMPA	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
AMERİKA	AMPS	✓	✓	✓	✓	x	✓	✓
HOLLANDA	CAMPAL	✓	x	✓	x	x	x	x
FRANSA	CINNA 3	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x
FRANSA	CIRCLE 2000	✓	x	✓	✓	✓	x	✓
İTALYA	MARPLES	✓	x	✓	✓	x	x	x
AMERİKA	TAMPS	✓	✓	(Opsiyonel)	(Opsiyonel)	✓	x	(Opsiyonel)
AMERİKA	TEAMS	✓	x	✓	✓	x	x	x

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışma kapsamında eski nesil uçaklara ait mevcut görev planlama sistemleri Yakın Hava Desteği görevi planlaması konusunda incelenmiştir. Yapılan değerlendirme NATO Taktik Hava Doktrininde belirtilen dokuz temel özellik göz önünde bulundurulmuştur. Basılı harita ve çizimler kullanılan görev planlama sistemleri hariç diğer görev planlama sistemleri içerdikleri veriler ve fonksiyonel özellikler açısından yeni nesil bir uçak için görev planlama yeteneğinden çok uzakta olduğu görülmüştür. Hali hazırda kullanılan görev planlama sistemlerinin çoğunluğu kurulu oldukları bilgisayarda herhangi bir ağdan bağımsız olarak çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu durum paket içerisindeki görev unsurlarının kendi aralarındaki koordinasyonu olumsuz yönde etkilemekte ve Yakın Hava Desteği görevlerinde en önemli konulardan bir olan “Birlikte çalışabilirlik” özelliğini sağlamakta eksik kaldığı değerlendirilmiştir. Eski nesil uçakların sahip oldukları teknolojiler aviyonik sistemlerine ve görev bilgisayarlarına hazırlanan görev planlamalarının tam olarak yüklenemediği bu durumun zaman kaybına neden olduğu belirlenmiştir.

Yeni nesil uçaklar için geliştirilmesi planlanan görev planlama sistemlerinin dağıtık mimaride tasarlanmasının fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir. Merkezi lokasyon da kurulu olan ve tek merkezden güncellenen verilerin bir ağ üzerinden başka yerde konuşlu olan birliklerle paylaşılması, NATO Taktik Hava Doktrininde belirtilen dokuz temel özellikten “Birlikte çalışabilirlik”, “Zaman”, “Kullanıcı Kolaylığı”, “Veri Tabanı” ve “Gelişme Potansiyeli” konularında yardımcı olacağı öngörülmüştür. Yerel olarak işletilen görev planlama sistemine ait sunucular, merkezi birimden kendi bölgelerine ait meteoroloji, harita, resim gibi bilgileri indirerek yerel kullanıcılara hizmet verecek şekilde tasarlanması fayda sağlayacağı değerlendirilmektedir. Aynı zamanda yeni nesil bir uçağın aviyonik ve görev sistemlerinin yerdeyken ayarlanması, uçuş esnasında güncellenmesi ve belirli parametrelere göre planlanmasının sağlanması önemlidir. Bu nedenle uçağa özgü özelliklerin fonksiyonel olarak planlamaya dâhil edilebilecek şekilde görev planlama sistemine aktarılması önemli bir geliştirme olacaktır.

Sonuç olarak harekât ortamında kural değiştirici rolü olan yeni nesil uçakların bu rolleri yerine getirebilmesi için sahip olduğu teknolojilerin en iyi şekilde kullanılması gerekmektedir. Düşük görünürlük, ağ destekli harekât, gelişmiş veri bağlantıları, sensörler ve radar gibi teknolojilerin görev öncesi planlanması durumsal farkındalığı artıracak ve harekâtın başarısına doğrudan katkı sağlayacaktır. Bu çalışmada yeni nesil bir uçağın harekât kabiliyeti artıracak ve pilotun iş yükünü azaltarak durumsal farkındalığa katkı sağlayacak bir görev planlama sisteminin nasıl kurgulanması gerektiği ve mimari öngörülerini paylaşılmıştır. Bu araştırmada incelenen mimarinin ötesinde, gelecekteki çalışmaların odaklanması önerilen alanlar arasında, planlanan görevlerin üç boyutlu bir ortamda nasıl etkili bir şekilde ön izlenebileceği ve görevin tamamlanmasının ardından icra edilen

faaliyetlerin, ilgili tüm katılımcılar tarafından üç boyutlu bir ortamda nasıl kapsamlı bir şekilde değerlendirilebileceği konuları bulunmaktadır. Bu tür bir ilerlemenin, görev planlama ve değerlendirme süreçlerine derinlemesine bir boyut kazandırarak, etkileşimli ve çok katmanlı bir analiz platformu sunması beklenmektedir. Planlanan görevlerin üç boyutlu ön izlemesi, görev planlayıcılarına ve icracılara, operasyon el senaryoları daha gerçekçi bir perspektiften değerlendirme imkânı tanıyarak, potansiyel risklerin ve engellerin önceden tespit edilmesine olanak sağlayabilir. Bu yaklaşım, görev planlamasının doğruluğunu ve etkinliğini artırarak, aynı zamanda operasyon el karar verme süreçlerini destekleyecek kritik bilgiler sunacaktır.

Görev sonrası faaliyetlerin üç boyutlu değerlendirilmesi ise, katılımcıların görev performansını detaylı bir şekilde analiz etmelerine, başarılar ve eksiklikler üzerine kapsamlı bir değerlendirme yapmalarına ve gelecekteki operasyonlar için önemli dersler çıkarmalarına yardımcı olacaktır. Önerilen analizler hem bireysel hem de takım bazında performansın iyileştirilmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesine olanak tanıyacak ve genel operasyon el etkinliğinin artırılmasına katkıda bulunacaktır. İşbu çalışmanın önerdiği gelecek araştırmalar, görev planlama ve değerlendirme süreçlerinde yenilikçi teknolojilerin ve metodolojilerin entegrasyonu yoluyla, savunma alanındaki literatüre önemli katkılarda bulunma potansiyeline sahiptir. Bu tür yenilikler, yeni nesil savaş uçakları gibi gelişmiş askeri platformların kullanımı ve yönetimi konusundaki anlayışı derinleştirecek ve genişletecek, aynı zamanda daha güvenli ve etkili operasyon el performans sağlama yönünde önemli adımlar atılmasını mümkün kılacaktır.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**



Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.



**Kaynaklar**

- AGARD AR-296 (1991). Mission Planning Systems for Tactical Aircraft (Pre-flight and In-Flight). ISBN 92-835-0615-4.
- AGARD AR-313 (1992). Mission Planning Systems for Tactical Aircraft (Pre-flight and In-Flight). ISBN 92-835-0697-9
- Dr Layton, Peter (2017). Fifth Generation Air Warfare. Royal Australian Air Force Air Power Development Centre ISSN 2200-1697 Sf: 43.
- Daley, S. (2019). Effectively Recruiting and Retaining Fifth-Generation Airmen for the F-35 Fifth-Generation Weapon Systems Within the Air National Guard. United States Marine Corps Command and Staff College Marine Corps University Sf: 2.
- Garrett, T., (1990). Close Air Support: Which way do we go? Doi:10.55540/0031-1723.1553 Sf: 33.
- Gillott, Mark A., (1998) Breaking the Mission Planning Bottleneck: A New Paradigm. Air Command and Staff College. AU/ACSC/099/1998-04 Sf: 1-2.
- Gluck, K. A., Ziegler, J., Nolan, B., Eberle, A., Duckro, D., Cline, J., Nelson, L., Setlur, V. & Wallace, Z. (2019). Emerging Innovations for Next Generation Mission Planning and Debrief. Interservice/Industry Training, Simulation, and Education Conference (IITSEC) 2019 Sf: 2;5.
- Güntürkün, Rüştü (2022). Developments in Warplanes from World War II to the Present Day. International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES) 2320-9364 Sf: 310.
- Kozanidis, G., Liberopoulos, G., Pitsilkas, C. (2010) Flight and Maintenance Planning of Military Aircraft for Maximum Fleet Availability. Military Operations Research , 2010, Vol. 15, No. 1 Sf: 53.
- Martinic, G. (2015) Jet Fighter Aircraft – Five ‘Generations’ Later, and Still Counting. Australian Naval Institute Sf: 2.
- Matthew J. O'Rourke, John N. Ralstonf and Stefan J. KIoc (1996) AIAA Meeting Papers on Disc, January 1996 A9618741, AIAA Paper 96-0786 Sf: 2.
- Neujahr, H., Sandl, P., Schumann, J., Simmat, S., Sulzberger, D. (2003) Intuitive Mission Planning on a Digital Map Table. Critical Design Issues for the Human-Machine Interface SCI Symposium. RTO-MP-112 Sf: 2.
- Quttineh, N. H., Lundberg, K., Holmberg, K., & Larsson, T. (2012). Aircraft Mission Planning. Linköping University, Sweden Sf: 4;10.
- Reus A, Vlasblom J, Arents R. (2021). 5th Gen Mission Planning: Integrated Systems and Algorithms. DOI: 10.14339/STO-MP-MSG-184-06-PDF Sf: 6-3
- STANAG 3700 (1985). NATO Tactical Air Doctrine (ATP-33(B)) Edition 4.
- Urings, J., Spijkervet, A. (1986) Tactical Mission Planning and Management. AGARD Conference Proceedings No:388 Ch.9 Sf: 9-1,2.
- URL-1: Lockheed Martin, “F-35 capabilities, Multi-Mission Capability for Emerging Global Threats,” erişim tarihi: 02 Mart 2024 <https://www.f35.com/about/capabilities>.

## **Toz Metalürjisi ve Sıcak Preslemeyle Üretilen Karbon Nanotüp Katkılı Al6061 Matrisli Kompozitlerin Mikroyapısının ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması**

Mahmut Can ŞENEL<sup>1\*</sup> , Tülin ŞENBAŞ<sup>2</sup> 

### **Öz**

Alüminyum esaslı kompozitler; hafif olmaları, iyi ısı ve elektriksel iletkenliğe sahip olmaları, mekanik dayanımlarının yüksek olması sebebiyle çeşitli endüstriyel alanlarda (havacılık, otomotiv, uzay sanayi vb.) sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleriyle karbon nanotüp (KNT) katkı (ağırlıkça %0,1-0,5) Al6061 esaslı kompozitler üretilmiştir. Üretilen numunelerin faz yapısı ve mikroyapısı analiz edilip deneysel yoğunluğu, gözeneklilik oranı, sertliği ve basma dayanımı tespit edilmiştir. Yürütülen testler sonucunda Al6061 alaşımına kıyasla Al6061-%0,1KNT kompozitin sertliğinin ve basma dayanımının sırasıyla %10,2 ve %21 oranlarında iyileştiği görülmüştür. Sonuç olarak karbon nanotüp katkısının ağırlıkça belirli bir orana (%0,1) kadar mekanik özellikleri iyileştirdiği ve karbon nanotüpün alüminyum matrisli kompozitler için etkili bir takviye elemanı olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Al6061 alaşımı, Karbon nanotüp, Kompozit, Mikroyapı, Dayanım.

## **Investigation of Microstructure and Mechanical Properties of Carbon Nanotube Reinforced Al6061 Matrix Composites Produced by Powder Metallurgy and Hot Pressing**

### **Abstract**

Aluminum-based composites are frequently utilized in various industrial areas (aviation, automotive, space industry, etc.) because they have lightweight structure, good thermal and electrical conductivity, and high mechanical strength. In this study, carbon nanotube (CNT) reinforced (0.1-0.5% by weight) Al6061 alloy matrix composites were fabricated via hot-pressing and powder metallurgy methods. The phase structure and microstructure of the produced specimens were analyzed, and their experimental density, porosity ratio, hardness, and compressive strength were determined. As a result of the performed tests, it was seen that hardness and compressive strength of the Al6061-0.1% CNT composite improved by 10.2% and 21%, respectively, compared with Al6061 alloy. Consequently, it is determined that carbon nanotube contribution up to a certain percentage (0.1wt.%) improves mechanical properties, and carbon nanotube is an effective reinforcement element for aluminum matrix composites.

**Keywords:** Al6061 alloy, Carbon nanotube, Composite, Microstructure, Strength.

<sup>1,2</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, mahmutcan.senel@omu.edu.tr tulin\_senbas@hotmail.com

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

**Geliş/Received:** 16.01.2024

**Kabul/Accepted:** 13.05.2024

**Yayın/Published:** 18.06.2024

## 1. Giriş

Günümüzde kompozit malzemeler hemen hemen her alanda karşımıza çıkmaktadır. Bilinen en yaygın kullanım alanları; spor malzemeleri, elektrik-elektronik malzemeler, tıbbi cihazlar, uçak ve gemilerde kullanılan yapısal malzemeler şeklinde sıralanmaktadır. Kompozitler; farklı kimyasal ve fiziksel özellikleri barındıran iki veya daha fazla malzemenin birleşimiyle meydana gelen yeni tür malzemelerdir (Şahin, 2006). Bu tür malzemeler, tek bir malzemeyle elde edilemeyen özellikler sunmaları nedeniyle giderek daha fazla kullanılmaktadır. Kompozit malzemeler takviye malzemesinin şekline göre; tabakalı, karma, fiber takviyeli, partikül takviyeli kompozitler olarak sınıflandırılabilir. Kompozitler ana malzemeye göre ise polimer, metal ve seramik esaslı kompozitler olarak sınıflandırılmaktadır (Chawla, 2006; Erdoğan, 2005).

Metal matrisli kompozit (MMK) malzemeler, ana (matris) eleman olarak bir metalin (Al, Ti, Mg, Fe, Cu, vb.), takviye elemanı olarak da seramik ( $B_4C$ , SiC,  $Al_2O_3$ , BN,  $Si_3N_4$ , vb.) ve/veya karbon esaslı bir malzemenin (fulleren, karbon nanotüp, grafen, vb.) kullanıldığı kompozit yapılarıdır (Pul, 2010). Günümüzde en yaygın kullanılan matris eleman ise alüminyum ve alaşımlarıdır. Alüminyum ve alaşımları, kolay şekillendirilebilmeleri, yoğunluklarının düşük olması, elektrik ve ısı iletkenliklerinin iyi olması, mekanik dayanımlarının yüksek olması sebebiyle endüstriyel alanda MMK'lerde matris malzeme olarak tercih edilmektedir. Al6061 alaşımı içerisinde Fe, Ti, Mg, Al, Cu, Si, Zn, Cr, Mn gibi elementleri barındırmakta olup yüksek tokluğa, iyi korozyon dayanımına ve yüksek mukavemete sahip bir malzemedir. Bu sebeple, kazan imalatında, köprülerde, borularda, gemi inşa sektöründe, kamyon korkuluklarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Şahin 2014; Koli ve ark. 2012; Macke ve ark., 2012). Takviye elemanı olarak tercih edilen karbon nanotüp ise karbon atomlarının altıgen bir kafes yapısında düzenlendiği içi boş silindirik şeklindeki yapılarıdır. KNT malzemeler, yüksek ısı ve elektrik iletkenlik, kimyasal direnç, yüksek dayanım ve yüksek tokluk gibi özelliklere sahiptir. Bu üstün özellikler sayesinde KNT'ler elektronik cihazlarda, pillerde, sensörlerde, tıbbi cihazlarda, spor malzemelerinde ve otomotiv parçalarında tercih edilmektedir (Topcu, 2018).

Kompozit malzemeler farklı üretim yöntemleriyle (difüzyon bağlama, ekstrüzyon, sıvı infiltrasyon, toz metalürjisi, vb.) üretilebilmektedir. Bu yöntemler arasında toz metalürjisi (TM) yöntemi ön plana çıkmaktadır. TM yönteminin; karmaşık şekilli parçaların üretimi, yüksek dayanım ve tokluğa sahip parça üretimi, nihai şekle yakın ürün üretimi gibi avantajları vardır (German, 2005; Demir, 2022). Bu yöntem ile tozlar belli oranda karıştırılarak bir kalıp içerisinde preslenmekte ve şekillendirilmektedir. Sıkıştırma işleminden sonra numunelere mukavemet kazandırmak için numuneler ergime sıcaklığının altında bir sıcaklıkta sinterlenir. Sonrasında daha yoğun bir mikroyapı

elde etmek amacıyla herhangi bir ikincil işlem (ekstrüzyon, haddeleme, sıcak presleme, vb.) uygulanarak üretim süreci sonlandırılır (Şenel ve ark., 2015).

Literatür incelendiğinde, karbon nanotüp katkılı alüminyum esaslı kompozitlerin özelliklerinin araştırılması konusunda literatürde farklı çalışmalara rastlanmıştır. Sridhar ve Narayanan yürüttükleri çalışmada, ağırlıkça %0,5-2 karbon nanotüp takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin mikroyapısını ve mekanik davranışını araştırmıştır. En üstün mekanik özellikler ağırlıkça %2KNT katkılı Al esaslı kompozit yapıda tespit edilmiştir. Saf alüminyumla karşılaştırıldığında çekme dayanımının ve Vickers sertliğinin sırasıyla; %87,5 ve %8,7 oranında arttığı belirlenmiştir (Sridhar ve Narayanan, 2009). Choi ve ark. yaptıkları çalışmada, karıştırıcı dönüş hızının (425, 520, 600 dev/dk) ve karıştırma süresinin (3, 6, 12 saat) hacimce %4,5 KNT katkılı Al matrisli kompozitlerin mikroyapısına ve mekanik davranışına etkisini araştırmıştır. En üstün mekanik özellikler 6 saatlik karıştırma süresinde ve 520 dev/dk'lık karıştırma hızında gözlemlenmiştir (Choi ve ark., 2012). Cao ve ark. yürüttükleri çalışmada, Al-KNT kompozitlerin yüksek sıcaklıklardaki çekme dayanımını araştırmıştır. Hacimce %5 KNT katkılı Al esaslı kompozitin 400°C'deki çekme dayanımının 205 MPa olduğu belirlenmiş olup literatürdeki benzer çalışmalara kıyasla kompozitin çekme dayanımının 100 MPa daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır (Cao ve ark., 2022). Raviathul Basariya ve ark. çalışmalarında, KNT katkılı Al matrisli kompozitlerde öğütme süresinin (0-50 saat) kompozitin mekanik özelliklerine olan etkisini incelemiştir. En yüksek sertliğe (436 HV) %2 KNT katkılı EN AW6082 matrisli kompozitte 50 saatlik öğütme süresinde ulaşılmıştır (Raviathul Basariya ve ark., 2014). Khan ve ark. yaptıkları çalışmada, karbon nanotüp (KNT: ağırlıkça %0,25-1) ve bor nitrid (BN: ağırlıkça %1-7) katkısının Al esaslı kompozitin mikroyapısına ve mekanik dayanımına olan etkisini araştırmıştır. %3 BN ve %0,5KNT katkısında en iyi mekanik özellikler elde edilmiştir. Saf alüminyuma kıyasla Al hibrit kompozitin çekme dayanımının %189 ve sertliğinin %106 oranında arttığı rapor edilmiştir (Khan ve ark., 2024). Dong ve ark. bakır kaplı karbon nanotüp takviyeli Al matrisli kompozitlerin mekanik özelliklerini incelemiştir. En üstün mekanik özellikler %1,2 Cu kaplı KNT takviyeli Al esaslı kompozitte elde edilmiştir. Matris malzemeye kıyasla kompozitin basma dayanımının %53,5 ve akma dayanımının %39,3 oranında iyileştiği tespit edilmiştir (Dong ve ark., 2024). Mohammed ve Chen yaptıkları çalışmada alüminyum esaslı karbon nanotüp katkılı kompozitlerin KNT ve Al arasında gözlenen arayüz mekanizmalarını analiz etmiştir. Sonuç olarak kompozitin dayanımını artırmak için karbon nanotüpün etkili bir takviye malzemesi olduğunu ve mikroyapıda karbon nanotüpün homojen dağıtılmasının önemli olduğunu belirtmiştir (Mohammed ve Chen, 2019). Mansoor ve Shadid çalışmalarında, farklı karbon nanotüp katkı oranlarında (hacimce %0,1 ve %0,2) Al1199 matrisli kompozitlerin mikroyapısını ve mekanik davranışını araştırmıştır. Alüminyum alaşımıyla karşılaştırıldığında hacimce %0,2 KNT katkılı kompozitin sertliğinin ve çekme dayanımının sırasıyla ~%45 ve ~%52 oranlarında iyileştiği belirlenmiştir (Mansoor ve Shahid, 2016).

Yürütülen bu çalışma kapsamında, toz metalürjisi ve indüksiyon altında sıcak presleme yöntemleriyle ilk kez karbon nanotüp takviyeli Al6061 matrisli kompozitler üretilmiştir. Üretilen kompozitlerin sertliği, basma dayanımı, gözeneklilik oranı, yoğunluğu, mikroyapısı ve faz yapısı araştırılmıştır.

## 2. Malzeme ve Metot

Bu çalışma kapsamında, ana malzeme olarak Al6061 alaşım tozu, takviye malzeme olarak karbon nanotüp tozu kullanılmıştır. Al6061 alaşım tozu;  $\sim 2,7 \text{ g/cm}^3$  teorik yoğunluğa,  $\sim 10 \text{ }\mu\text{m}$  ortalama tanecik boyutuna ve %99 saflık derecesine sahip olup Nanografi firmasından temin edilmiştir. Al6061 alaşımında; Al, Si, Mg, Cu, Fe, Cr, Ti gibi alaşım elementleri yer almakta olup bu elementlerin %ağırlıkça dağılımı Tablo 1’de sunulmuştur. Temin edilen karbon nanotüp (KNT) tozu ise çok duvarlı bir yapıya sahip olup  $\sim 1,9 \text{ g/cm}^3$  teorik yoğunluğa,  $\sim 80 \text{ nm}$  dış çapa ve %98 saflığa sahiptir. Bu toz ticari olarak Nanografi firmasından satın alınmıştır.

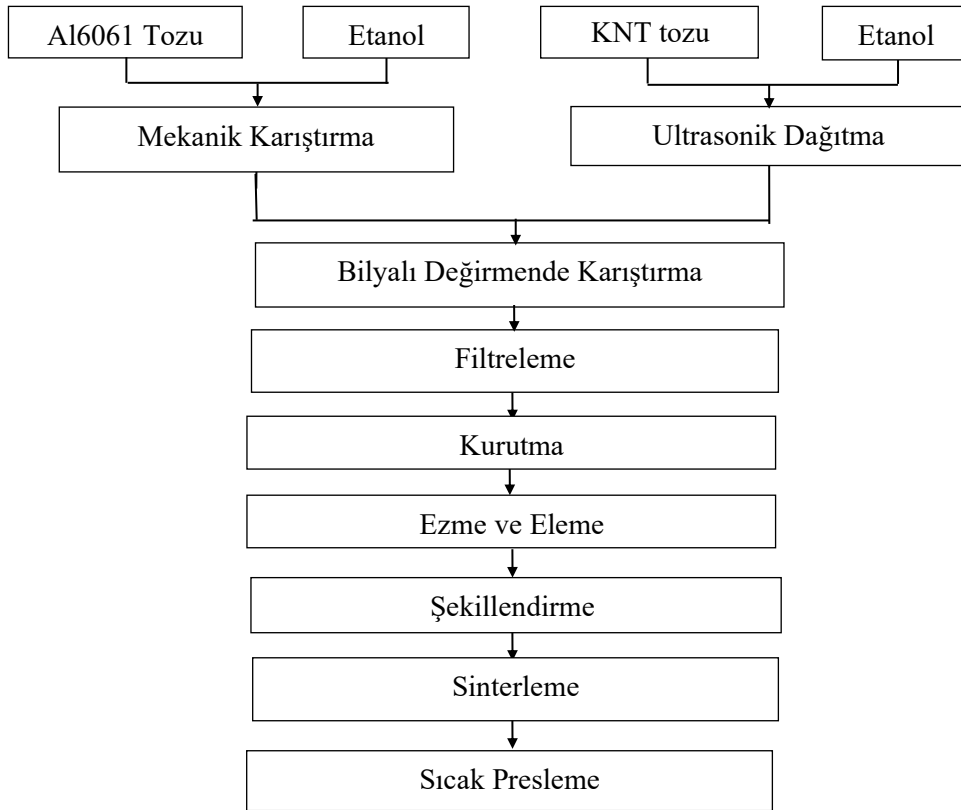
**Tablo 1.** Al6061 alaşımındaki elementlerin %ağırlıkça dağılımı [9].

Si	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn	Cr	Ti	Diğer	Al
0,4-0,8	0,8-1,2	0,15-0,40	0,7	0,15	0,25	0,04-0,35	0,15	0,15	Kalan

Toz metalürjisi ve indüksiyon altında sıcak presleme yöntemi kullanılarak bu çalışmada Al6061-KNT kompozitler üretilmiştir (Şekil 1). İlk olarak Al6061 alaşım tozu etil alkol içerisinde 1 saat süresince mekanik karıştırıcıyla karıştırılmıştır. Eş zamanlı olarak karbon nanotüp tozu etil alkol içerisinde ultrasonik karıştırıcıyla dağıtılmıştır. Sonrasında KNT-etanol karışımı azar azar Al6061-etanol karışımına eklenmiştir. Tüm karışım yüksek enerjili bilyalı değirmende 600 dev/dk hızda 15 dk süresince karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra etil alkolü ayırıştırmak için karışıma filtreleme ve 16 saat süresince vakum altında etüvde kurutma işlemi uygulanmıştır. Kurutma işlemi sonrasında karışımdaki toprakları kırmak amacıyla toz karışımı agat havanda ezilerek elekte eleme işlemine tabi tutulmuştur. Al-KNT toz karışımı 700 MPa basınç altında tek eksenli hidrolik presle paslanmaz çelik kalıp içerisinde preslenmiştir. Böylece ham numuneler  $10 \times 10 \times 6 \text{ mm}$  boyutlarında üretilmiştir. Üretilen numuneler, sürekli vakumda  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta 60 dk boyunca tüp fırın içerisinde sinterlenmiştir. Kompozit malzemelere ait mikroyapıda tanelerin yaklaşmasını sağlamak ve birim alandaki tane sayısını artırmak amacıyla numuneler indüksiyon altında sıcak presleme işlemine tabi tutulmuştur. Bu aşamada indüksiyonla ısıtma makinesi ve hidrolik pres eş zamanlı kullanılarak sıcak presleme işlemi uygulanmıştır. İndüksiyonla ısıtma makinesi 50 Hz frekansa ve 25 kW çıkış gücüne sahip olup soğutma süresi 10 s, bekleme süresi 30 s ve ısıtma süresi 40 s olarak ayarlanmıştır. Bu sayede  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta sıcak presleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Sıcak preslemede kullanılan

manuel hidrolik pres 10 ton kapasiteye sahip olup presleme işlemi 25 MPa basınç altında gerçekleştirilmiştir. Bu iki işlem (ısıtma ve presleme) hızlı bir şekilde (yaklaşık 1 dakikada) birlikte uygulanarak tane büyümesi olmaksızın ve oksidasyon oluşumuna fırsat vermeden numunelere ikincil işlem uygulanarak mukavemet kazandırılmıştır. Sıcak presleme sonrası ise numunelere zımparalama ve parlatma işlemi uygulanmıştır. Zımparalama işlemi için her bir numune sırasıyla 600, 1500 ve 2500 gritlik zımpara kağıtlarıyla 5 dk süresince zımparalanmıştır. Sonrasında elmas çuha üzerine 1 mikronluk elmas solüsyon püskürtülerek numuneler 30 dk süresince parlatılmıştır. Böylece numune üretim süreci tamamlanmıştır.

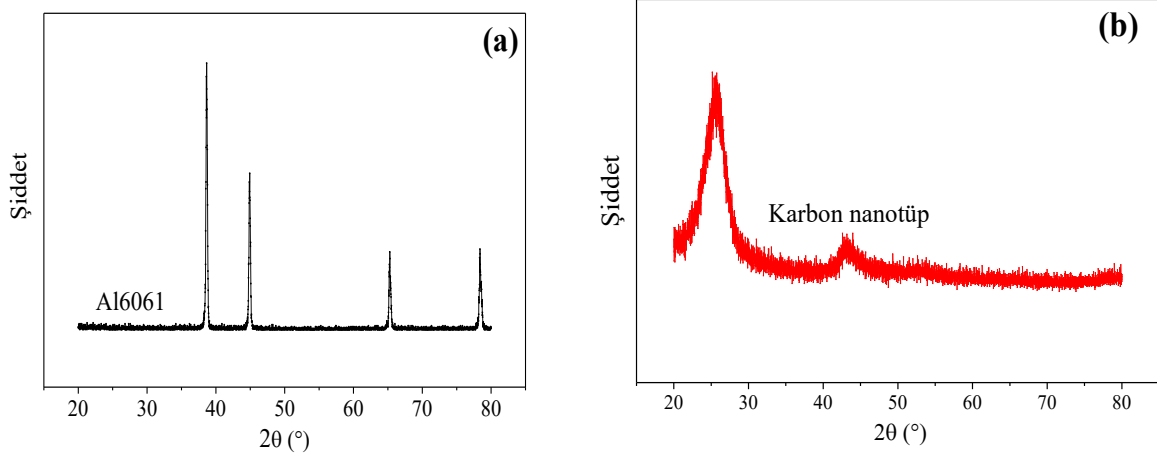
Üretilen numunelerin yoğunluğu Arşimet yoğunluk ölçüm kiti kullanılarak tespit edilmiştir. Numunelerin sertliği Vickers sertlik ölçüm cihazı kullanılarak belirlenmiştir. Sertlik ölçümü, 200 gf yük altında 15 s'de gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü için numune yüzeyinden en az sekiz noktanın sertlik değeri ölçülerek numunenin ortalama sertliği hesaplanmıştır. Numunelerin basma mukavemeti Mares tst-10t üniversal test makinesiyle test edilmiş olup basma hızı 2 mm/dk olarak belirlenmiştir. Numunelerin faz yapısı, Rigaku Smartlab model XRD ünitesiyle incelenmiştir. Üretilen numunelerin kırılmış yüzey görüntüleri ve toz morfolojileri Jeol JSM7001F model taramalı elektron mikroskopuyla (SEM) analiz edilmiştir. Aynı mikroskobun Enerji Dağıtıcı X-Işını (EDX) modülü kullanılarak numuneye ait element dağılım haritaları elde edilmiştir.



Şekil 1. Karbon nanotüp takviyeli Al6061 matrisli kompozitlerin üretimine ait akış şeması.

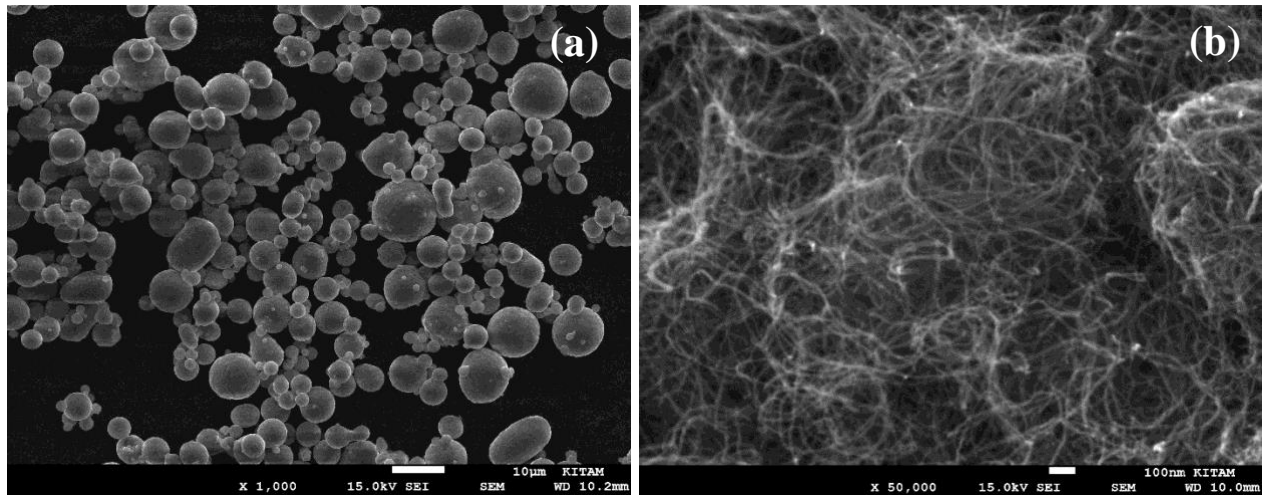
### 3. Bulgular ve Tartışma

Ticari olarak temin edilen Al6061 alaşım ve karbon nanotüp tozlarının faz yapısını belirlemek amacıyla X-ışını kırınımı faz analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 2). Analizlerden karbon nanotüpün kırınım açısının  $27,2^\circ$  olduğu; Al6061 alaşımının kırınım açılarının  $38,3^\circ$ ,  $45,6^\circ$ ,  $65,7^\circ$ ,  $78,1^\circ$  olduğu belirlenmiştir. Bu analizlerden temin edilen tozların Al6061 alaşım ve karbon nanotüp tozları olduğu belirlenmiştir. Ayrıca üretilen kompozit malzemelerde faz yapılarının tespiti için bu analizler önem arz etmektedir.



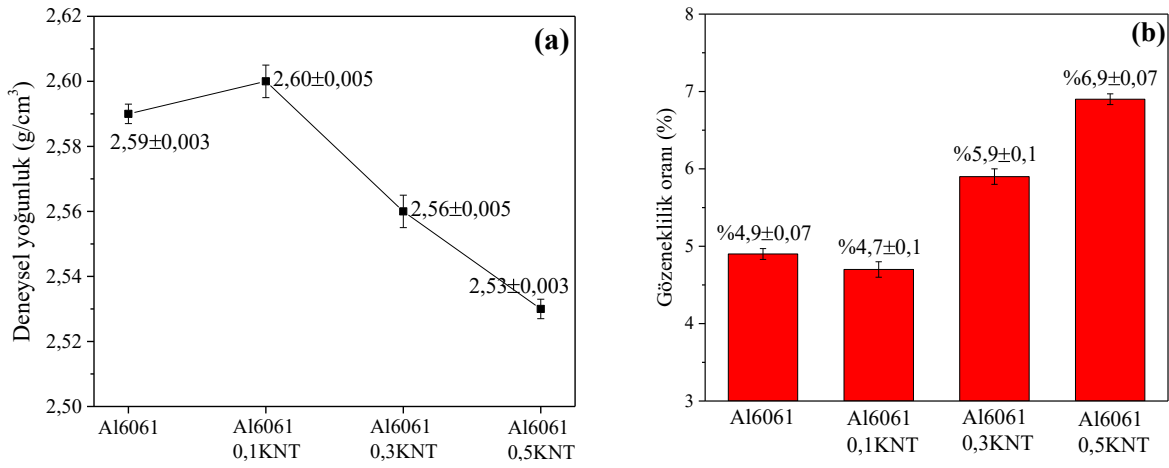
Şekil 2. Tozların X-ışını kırınımı analiz sonuçları: (a) Al6061 alaşım ve (b) karbon nanotüp.

Şekil 3'de Al6061 alaşım ve karbon nanotüp tozlarına ait SEM görüntüleri sunulmuştur. Bu görüntülerden Al6061 alaşım tozlarının küresele yakın bir morfolojiye sahip olduğu ve ortalama tanecik boyutunun  $10 \mu\text{m}$  olduğu gözlenmiştir (Şekil 3a). Karbon nanotüp tozlarının ise silindirik şeklinde sarılmış bir morfolojide olduğu ve uzunluklarının mikron altı seviyesinde olduğu görülebilmektedir (Şekil 3b).



Şekil 3. Tozların SEM görüntüleri: (a) Al6061 alaşımı ve (b) karbon nanotüp.

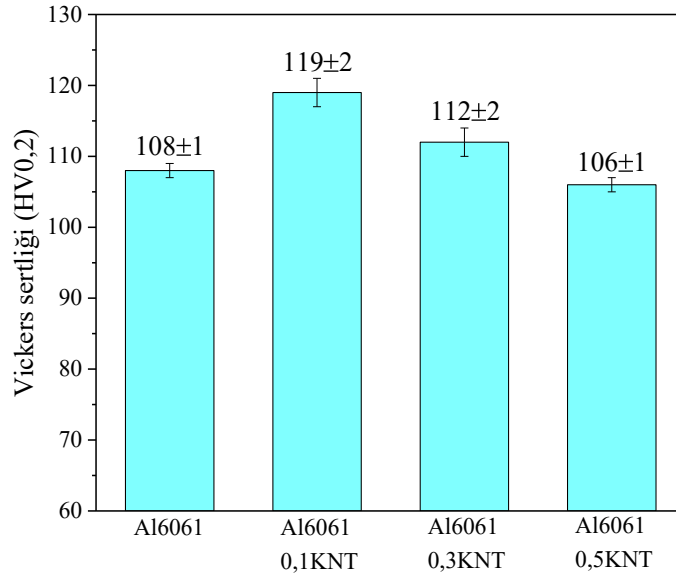
Karbon nanotüp takviyeli Al6061 matrisli kompozitlerin gözeneklilik oranı ve deneysel yoğunluğu Şekil 4’de sunulmuştur. Alüminyum yapıya ağırlıkça %0,1’e kadar karbon nanotüp katkısının kompozitin yoğunluğunu arttırdığı ve gözeneklilik oranını düşürdüğü belirlenmiştir. Maksimum yoğunluk ( $2,60\pm 0,005$  g/cm<sup>3</sup>) ve minimum gözeneklilik oranı (%4,7±0,1) Al6061-%0,1KNT kompozit yapıda elde edilmiştir. Kompozit malzemede KNT katkı oranı ağırlıkça %0,5 olduğunda ise yoğunluğun  $2,53\pm 0,003$  g/cm<sup>3</sup> ve gözeneklilik oranının %6,9±0,07 seviyelerinde olduğu görülmüştür. Bu durumun, karbon nanotüpün muhtemel kümeleşmesinden ve KNT ile alüminyumun termal genleşme katsayılarının birbirinden çok farklı olmasından kaynaklandığı öngörülmektedir.



Şekil 4. Karbon nanotüp takviyeli Al6061 matrisli kompozitlerin (a) yoğunluk ve (b) gözeneklilik oranı.

Şekil 5’de karbon nanotüp katkılı Al6061 alüminyum esaslı kompozitlerin Vickers sertlik değerleri sunulmuştur. Testler sonucunda Al6061 alaşımının ortalama sertlik değeri  $108\pm 1$  HV olarak ölçülürken; Al6061-%0,1KNT kompozitin ortalama sertlik değeri  $119\pm 2$  HV değerine yükselmiştir. Matris yapıya ağırlıkça %0,1 karbon nanotüp katkısıyla numunenin sertliğinin %10,2 oranında arttığı belirlenmiştir. Bu artışta karbon nanotüpün sert karbon yapısının önemli bir etkisi olduğu düşünülmektedir. Kompozit yapıda KNT katkı oranı %0,3 ve %0,5 oranına çıktığında ise sertliğin hızla düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum, karbon nanotüp partiküllerinin toplanarak birbiri üzerinde kaymasından kaynaklandığı öngörülmektedir.





Şekil 5. Karbon nanotüp takviyeli Al6061 matrisli kompozitlerin Vickers sertliği.

Kompozit yapıların sertliği ( $H_c$ ) karışım kuralı Denklem (1) ile ifade edilebilmektedir (Şenel, 2018).

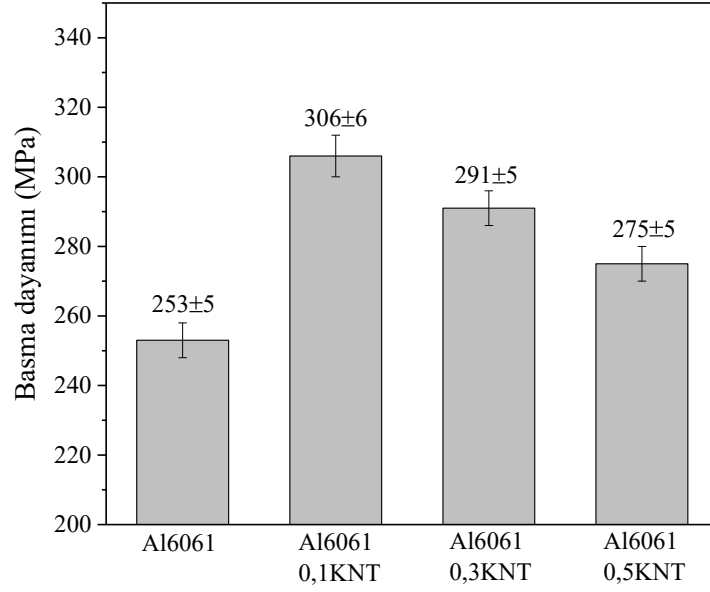
$$H_c = H_a f_a + H_t f_t \quad (1)$$

Bu eşitlikte,  $H_a$  ve  $H_t$  ana ve takviye elemanının sertliği,  $f_a$  ve  $f_t$  ana ve takviye elemanının hacimsel katkı oranıdır. Kompozitlerin sertliği ( $H_c$ ), dislokasyon yoğunluk mekanizması ile artırılabilir. Kompozit yapıda yoğunluğu artan dislokasyonlar birbirini zorlamakta ve malzemenin şekil değişimine karşı gösterdiği direnç yükselmektedir. Bu sayede, kompozit yapının sertliği artmaktadır (Şenel, 2018).

$$H_c = Gb\alpha\sqrt{\rho} + h\sqrt{td} \quad (2)$$

Burada  $b$  Burger vektörünü,  $\alpha$ ,  $h$ ,  $G$  malzeme sabitlerini ve  $\rho$  dislokasyon yoğunluğunu ifade etmektedir.

Karbon nanotüp katkılı Al6061 matrisli kompozitlerin basma dayanımı değerleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Al6061 alaşımının basma dayanımı  $253\pm 5$  MPa iken; Al6061-%0,1KNT kompozitin basma dayanımı  $306\pm 6$  MPa'dır. Al6061 alaşımıyla karşılaştırıldığında %0,1 karbon nanotüp katkılı kompozitin basma dayanımının %21 oranında iyileştiği belirlenmiştir. Bu artışın ısı işlem esnasında KNT'nin bir bariyer etkisi göstererek Al tane büyümesini engellemesinden kaynaklandığı öngörülmektedir. KNT katkısı %0,1'in üzerine çıktığında topaklanmış karbon nanotüp partiküllerinin plastik deformasyon sırasında kolay kayması sebebiyle basma dayanımı düşmüştür.



Şekil 6. Karbon nanotüp takviyeli Al6061 matrisli kompozitlerin basma dayanımı.

Kompozit yapılarda takviye elemanının mukavemeti ve boyutu üretilen kompozitin dayanımını etkilemektedir. Karbon nanotüp partiküller arasındaki mesafe Denklem (3) kullanılarak teorik olarak belirlenebilmektedir (Şenel ve Gürbüz, 2020).

$$\lambda = [4r(1 - f)]/(3r) \quad (3)$$

Bu eşitlikte  $r$  ve  $f$  sırasıyla karbon nanotüp partiküllerinin yarıçapı ve hacimsel katkı oranıdır. Karbon nanotüp katkı oranının artmasıyla alüminyum tanecikler arasındaki mesafe azalmaktadır. Al tanecikler arasındaki mesafe ( $\lambda$ ) ile kayma gerilmesi ( $\tau_0$ ) arasındaki ilişki Denklem (4)'de ifade edilmiştir (Şenel ve Gürbüz, 2020).

$$\tau_0 = Gb/\lambda \quad (4)$$

Burada  $G$  kayma modülünü ve  $b$  Burger vektörünü ifade etmektedir. Tanecikler arasındaki mesafenin azalmasıyla karbon nanotüp katkılı alüminyum matrisli kompozitin dayanımı da artmaktadır. Karbon nanotüp, Al yapı içerisinde bir engel gibi davranarak dislokasyon hareketini engellemekte ve bu durum da mukavemetin artışına sebep olmaktadır.

Kompozit yapıya yapılan takviyeler sonucunda mekanik özelliklerde tespit edilen iyileşme Denklem (5) ile ifade edilebilmektedir (Şenel, 2018).

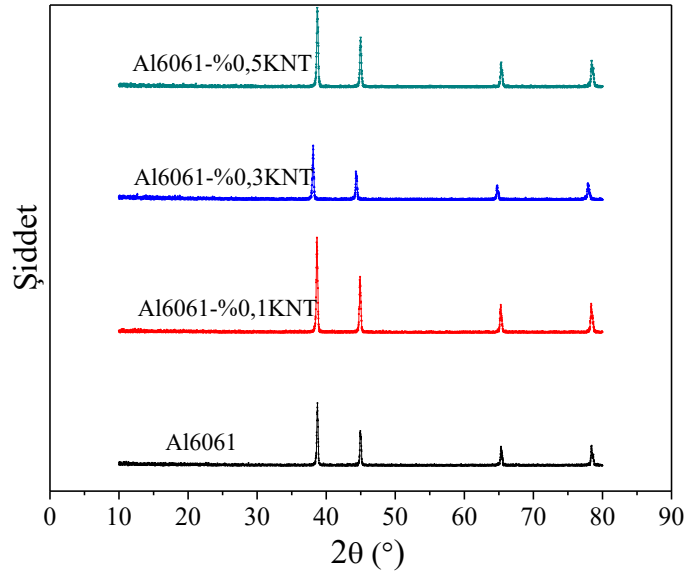
$$\sigma_c = \sigma_a f_a + \sigma_t f_t \quad (5)$$

Burada,  $\sigma_t$  ve  $\sigma_a$  takviye ve ana malzemenin mukavemetini,  $f_t$  ve  $f_a$  takviye ve ana malzemenin hacimsel katkı oranını belirtmektedir. Genel olarak teorik eşitliklerin A6061-KNT kompozitlere ait basma dayanımı test sonuçlarıyla tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.

Kompozitlerin dayanımını artıran bir diğer etken ise tane boyutudur. Yapı içerisindeki taneler daha ince bir forma getirildiğinde veya daha ince taneli bir malzeme yapıya ilave edildiğinde tane sınırı sayısı artmaktadır. Tane sınırı sayısının artması dislokasyonların hareketini zorlaştırmakta ve kompozitin mukavemetini artırmaktadır. Tane inceltme mekanizması olarak bilinen Hall-Petch denklemi (Denklem (6)) de Al kompozit yapıdaki mukavemet artışını ifade etmektedir. Bu eşitlikte  $\sigma_Y$  akma dayanımını,  $d$  ortalama tane çapını ve  $k$  ise malzeme sabitini vermektedir (Dieter, 1961).

$$\sigma_Y = kd^{-1/2} \quad (6)$$

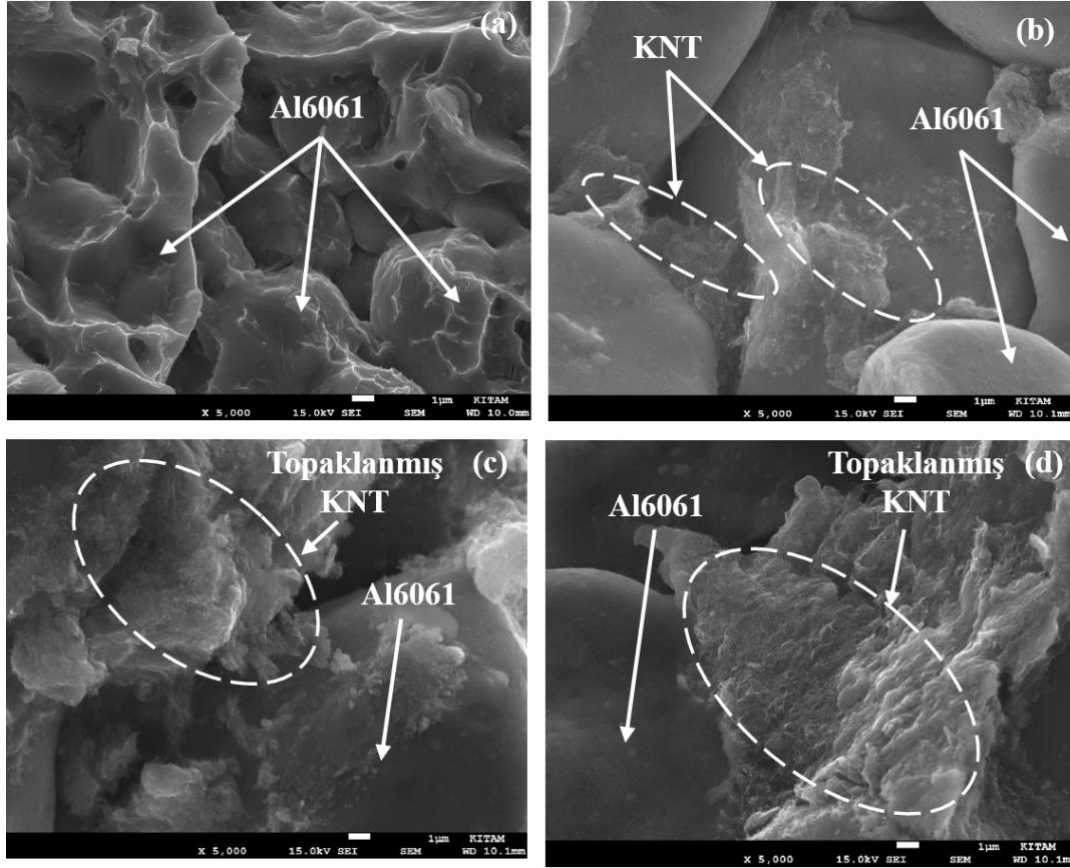
Al6061-KNT kompozitlerin XRD faz incelemeleri Şekil 7’de ortaya konulmuştur. Üretilen numunelere ait kırınım açıları incelendiğinde; tüm piklerin ( $2\theta=38,3^\circ$ ,  $45,6^\circ$ ,  $65,7^\circ$ ,  $78,1^\circ$ ) alüminyuma ait olduğu görülmüştür. XRD ünitesinin düşük hassasiyeti ve KNT’nin düşük takviye oranı nedeniyle kompozit yapıda karbon nanotüp pikine rastlanmamıştır. Ayrıca istenmeyen ikincil fazlar ( $Al_4C_3$ ) da gözlenmemiştir. Bu durum, ısıl işlemin ( $\sim 600^\circ C$ )  $Al_4C_3$  oluşum sıcaklığından ( $>830^\circ C$ ) daha düşük sıcaklıkta gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır (Şenel ve Gürbüz, 2020).



Şekil 7. Karbon nanotüp takviyeli Al6061 matrisli kompozitlerin XRD faz analizleri.

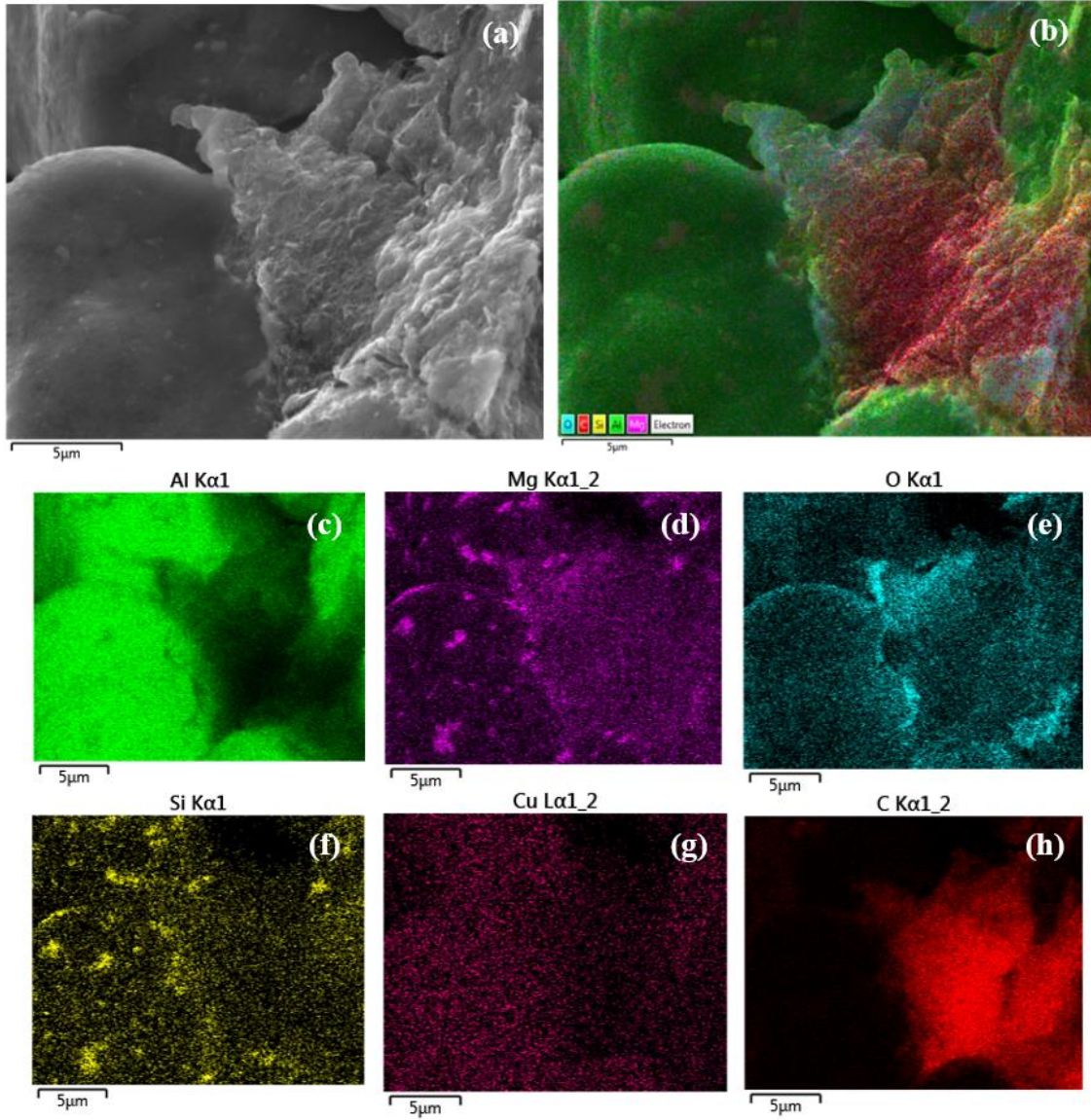
Şekil 8’de Al-KNT kompozitlere ve Al6061 alaşımına ait kırılmış yüzey görüntüleri verilmiştir. Kırık yüzey SEM görüntülerinden; mikroyapının oldukça yoğun olduğu ve numunelerin boyun vererek etkin bir şekilde ısıl işleme maruz kaldığı gözlemlenmiştir. Al-0.1KNT kompozit yapıda

KNT partiküllerin homojene yakın dağıldığı belirlenmiştir. Bu homojen dağılımın dislokasyonların hareketini engellediği düşünülmektedir. Ağırlıkça %0,3 ve %0,5KNT katkısında karbon nanotüp partiküllerin üst üste yığılarak kümeleştiği görülmüştür. Bu durum, kompozitin mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiş olup mikroyapı incelemeleri ile mekanik test sonuçlarının tutarlı olduğu sonucuna varılmıştır.



**Şekil 8.** Kompozitlerin kırılmış yüzey görüntüleri: (a) Al6061 alaşımı, (b) Al6061-%0,1KNT, (c) Al-%0,3KNT, (d) Al6061-%0,5KNT kompozitler.

Ağırlıkça %0,5 karbon nanotüp katkılı Al6061 matrisli kompozitlere ait SEM-EDX analizi Şekil 9’da sunulmuştur. Şekil incelendiğinde Al6061 alaşımının elementleri olan Al (yeşil renk), Mg (mor renk), Si (sarı renk) ve Cu (pembe renk) dağılımı rahatlıkla görülebilmektedir. Karbon (C) elementinin (kırmızı renk) dağılımı ise karbon nanotüpü temsil etmektedir. Element dağılımından karbon nanotüpün alüminyum tanecikler arasında istiflendiği ve bir bölgede yoğun bir şekilde kümeleştiği görülmektedir. Bu durum, nano yapılı KNT’nin tane sınırında birikerek matris ile takviye eleman arasında zayıf bir arayüzey bağı oluşmasına neden olmuştur. Sonuç olarak da Al-%0,5KNT kompozitin mukavemeti ve sertliği düşmüş, gözeneklilik oranı ise artmıştır.



**Şekil 9.** Al6061-%0,5KNT kompozit yapıya ait (a) SEM, (b) SEM-EDX görüntüsü ve (c-h) element dağılım haritaları.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Yürütülen bu çalışmayla, karbon nanotüp katkılı Al6061 esaslı kompozitler toz metalürjisi ve sıcak presleme yöntemleriyle üretilerek kompozitlerin mikroyapısı, gözeneklilik oranı, yoğunluğu, basma dayanımı ve sertliği incelenmiştir. Analizler ve testler neticesinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Yürütülen fiziksel ve mekanik testler sonucunda; en düşük gözeneklilik oranı, en yüksek yoğunluk, sertlik ve basma dayanımı ağırlıkça %0,1KNT katkılı Al6061 esaslı kompozitte elde edilmiştir. Al6061 alaşımına kıyasla Al6061-%0,1KNT kompozitin sertliğinin %10,2 ve basma dayanımının %21 oranında iyileştiği belirlenmiştir. Katkı malzemesi olarak kullanılan karbon nanotübün sert ve rijit yapısının bu artışta etkili olduğu düşünülmektedir.

- XRD faz analizlerinden; numunelere ait faz yapılarındaki tüm piklerin alüminyuma ait olduğu gözlemlenmiştir. Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub> gibi ısı işlem etkisiyle oluşabilecek istenmeyen ikincil fazlara rastlanmamıştır. Karbon nanotüp pikinin görülmemesi düşük cihaz hassasiyetinden ve karbon nanotüpün düşük katkı oranlarında kullanılmasından kaynaklanmaktadır.
- Mikroyapı incelemelerinden; mikroyapının oldukça yoğun olduğu ve karbon nanotüpün tane sınırlarına yerleştiği gözlemlenmiştir. Al6061-%0,1KNT kompozit yapıda karbon nanotüpün homojene yakın bir şekilde dağıldığı görülmüştür. Bu durum da dislokasyonların hareketini zorlaştırarak mekanik dayanımı artırmaktadır. Ağırlıkça %0,3 ve %0,5 karbon nanotüp katkısında ise karbon nanotüpün kümeleştiği ve bu durumun mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilediği belirlenmiştir.

Sonuç olarak, Al6061 matrise ağırlıkça %0,1'e kadar karbon nanotüp katkısının numunenin mekanik davranışını ve mikroyapısını olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

### **Teşekkür**

Bu çalışmada, SEM ve XRD analizi konusunda vermiş olduğu destekten dolayı Karadeniz İleri Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne (KİTAM) teşekkür ederiz. Yürütülen çalışma PYO.MUH.1901.22.008 kodlu proje ile Ondokuz Mayıs Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yazarlar, makalenin tüm süreçlerinde “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamında uyulması gerekli tüm kurallara uyulduğunu, karşılaşılabilecek etik ihlallerden Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi ve yayın kurulunun herhangi bir sorumluluğunun bulunmadığını, bu çalışmanın Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi dışında herhangi bir akademik yayın ortamında değerlendirilmediğini beyan ederler.

## Kaynaklar

- Cao, L., Chen, B., Wan, J., Kondoh, K., Guo, B., Shen, J., and Li, J.S., (2022). Superior high-temperature tensile properties of aluminum matrix composites reinforced with carbon nanotubes. *Carbon*, 191, 403-414.
- Chawla, K.K., (2006). *Composite Materials*, New York: Springer.
- Choi, H.J., Shin, J.H., and Bae, D.H., (2012). The effect of milling conditions on microstructures on microstructures and mechanical properties of Al/MWCNT composites. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43, 1061-1072.
- Demir, M., (2022). *İndüksiyonla sıcak işlemin grafen ve/veya  $Si_3N_4/B_4C$  takviyeli Al6061 esaslı kompozitlerin mekanik, tribolojik özelliklerine ve mikroyapısına olan etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.
- Dieter, G.E., (1961). *Mechanical Metallurgy*. UK: McGraw-Hill.
- Dong, X., Zeng, M., and Yan, H., (2024). Microstructure and mechanical properties of Cu-coated carbon-nanotubes-reinforced aluminum matrix composites fabricated by ultrasonic-assisted casting. *Metals*, 14(3), 1-17.
- Erdoğan, M., (2005). *Çelik takviyeli alüminyum kompozit üretimi ve mekanik özelliklerinin deneysel incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- German, R. M., (2005). *Powder metallurgy and particulate materials processing*. New Jersey: Princeton University Press.
- Khan, M.A., Uz Zaman, A., Khan, K.I., Karim, M.R.A., Hussain, A., and Haq, E., (2024). Synergistic effects of carbon nanotubes (CNTs) and white graphite (h-BN) on the microstructure and mechanical properties of aluminum matrix composites. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 1-14.
- Koli, D.K., Agnihotri, G., and Purohit, R., (2012). Advanced aluminium matrix composites: the critical need of automotive and aerospace engineering fields. *Materials Today: Proceedings*, 2(4-5), 3032-3041.
- Macke, A., Schultz, B.F., and Rohatgi, P., (2012). Metal matrix composites offer the automotive industry an opportunity to reduce vehicle weight improve performance. *Advanced Materials&Proceedings*, 170, 19-23.
- Mansoor, M., and Shahid, M., (2016). Carbon nanotube-reinforced aluminum composite produced by induction melting. *Journal of Applied Research and Technology*, 14(4), 215-224.
- Mohammed, S.M.A.K., and Chen, D.L., (2019). Carbon nanotube reinforced aluminum matrix composites. *Advanced Engineering Materials*, 22, 1-26.
- Raviathul Basariya, M., Srivastava, V.C., and Mukhopadhyay, N.K., (2014). Microstructural characteristics and mechanical properties of carbon nanotube reinforced aluminum alloy composites produced by ball milling. *Materials and Design*, 64, 542-549.
- Sridhar, I., and Narayanan, K.R., (2009). Processing and characterization of MWCNT reinforced aluminum matrix composites. *Journal of Materials Science*, 44, 1750-1756.
- Şahin, İ., (2014). Alüminyum matrisli kompozit malzemelerin matkap ile delinmesi konusunda yapılan çalışmaların incelenmesi. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 55(649), 9-16.
- Şahin, Y., (2006). *Kompozit malzemelere giriş*, Ankara: Seçkin Yayınevi.
- Şenel, M.C., Gürbüz, M., ve Koç, E., (2015). Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil kompozitler. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 56(669), 36-47.
- Şenel M.C., and Gürbüz, M., (2020). Investigation on mechanical properties and microstructure of  $B_4C$ /graphene binary particles reinforced aluminum hybrid composites. *Metals and Materials International*, 27, 2438-2449.
- Şenel, M.C., Gürbüz, M., and Koç, E., (2018). Mechanical and tribological behaviors of aluminum matrix composites reinforced by graphene nanoplatelets. *Journal of Materials Science and Technology*, 34(16), 1980-1989.
- Pul, M., (2010). *Al matrisli MgO takviyeli kompozitlerin infiltrasyon yöntemi ile üretilmesi ve işlenebilirliğinin değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Topcu, I., (2018). Karbon nanotüp takviyeli alüminyum matrisli AlMg/KNT kompozitlerinin mekanik davranışlarının incelenmesi. *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 99-109.



## Photovoltaic Thermal PV/T Solar Panels and Practical Applications

Sevgi ALTINKÖK<sup>1\*</sup>, Atılgan ALTINKÖK<sup>2</sup>

### Abstract

The research and development of renewable energy resources for energy production are of utmost importance due to factors such as the restricted utilization of fossil fuels and the escalating presence of greenhouse gases in the atmosphere resulting from their usage. The conversion of solar energy into electrical energy is made possible through the utilization of photovoltaic (PV) technology. Nevertheless, due to the PV cells' efficiency ranging between 15% and 20%, the excess energy is dissipated into the atmosphere as heat. Photovoltaic thermal (PV/T) systems increase efficiency both by converting solar energy into electrical energy and by converting the generated heat into useful energy. PV/T systems are a technology that increases efficiency by using solar energy to produce both electricity and hot water. PV/T systems have many types and have commercial and domestic applications. PV/T systems harness solar energy to generate electrical energy while simultaneously utilizing the generated heat to produce useful energy. This innovative approach enables the cooling of the PV cell surface, resulting in improved efficiency. Also, thanks to the use of these systems, it is possible to recover the energy lost in conventional photovoltaic systems. The primary objective of this study is to provide a comprehensive overview of the progress made in the research and development of PV/T solar collectors, encompassing an in-depth investigation of their various practical applications.

**Keywords:** Solar panels, PV/T technology, Photovoltaic thermal, Solar cells.

## Fotovoltaik Termal PV/T Güneş Panelleri ve Pratik Uygulamaları

### Öz

Enerji bugün ülkelerin kalkınmasının ve gelişmişliğinin bir göstergesi durumundadır. Ancak dünyada yaygın olarak kullanılan enerji, üretim ve tüketim yöntemleri yerine yenisi konulamayacak enerji kaynaklarımız tükenmekte bunun sonucunda da tabiat üzerinde geri dönüşü olmayan bir tahribata sebep olunmaktadır. Fosil yakıtların sınırlı olması ve enerji üretimindeki kullanımları nedeniyle atmosferdeki sera gazlarının artması gibi faktörler, enerji üretiminde yenilenebilir kaynaklara yönelik araştırma ve geliştirmeler hayati öneme sahiptir. Güneş enerjisi, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en önemli ve hızla büyüyen kaynaklardan biridir. Dünya çapında güneş enerjisinin kullanım oranı, sağladığı avantajlar ve ekonomik getirilerin artmasıyla birlikte artmaktadır. Fotovoltaik (PV) teknolojisi, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürebilme imkanı sağlar. Bununla birlikte, PV hücrelerin verimliliği %15-20 aralığında olduğundan, geri kalan enerji ısı olarak atmosfere salınır. PV/T sistemleri, güneş enerjisini hem elektrik enerjisine dönüştürürken hem de oluşan ısıyı faydalı enerjiye dönüştürerek verimliliği arttırmaktadır. PV/T sistemleri, elektrik ve sıcak su üretimi için güneş enerjisini kullanarak verimliliği arttıran bir teknolojidir. PV/T sistemleri, birçok çeşide sahip olup, ticari ve evsel uygulama alanlarına sahiptir. PV/T sistemleri, güneş enerjisi ile elektrik enerjisi üretirken aynı zamanda oluşan ısıyı da kullanarak faydalı enerjiye dönüştürürler. Bu şekilde PV hücrelerin yüzeyi soğutulur ve verimlilik artar. Ayrıca, bu sistemlerin kullanımı sayesinde, geleneksel fotovoltaik sistemlerde kaybedilen enerjiyi geri kazanmak mümkündür. PV/T sistemleri, yenilenebilir enerji kaynakları arasında en verimli olanlardan biri olarak kabul edilir. Bu çalışmada, fotovoltaik termal (PV/T) güneş kolektörlerindeki teknolojik ilerlemenin araştırılmasını ve geliştirilmesini ve bazı faydalı uygulamaları sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş panelleri, PV/T teknolojisi, Fotovoltaik termal, Güneş hücreleri.

<sup>1</sup>Kocaeli University, Enrgy Systems Engineering Department, Kocaeli, Turkey, 216171003@kocaeli.edu.tr

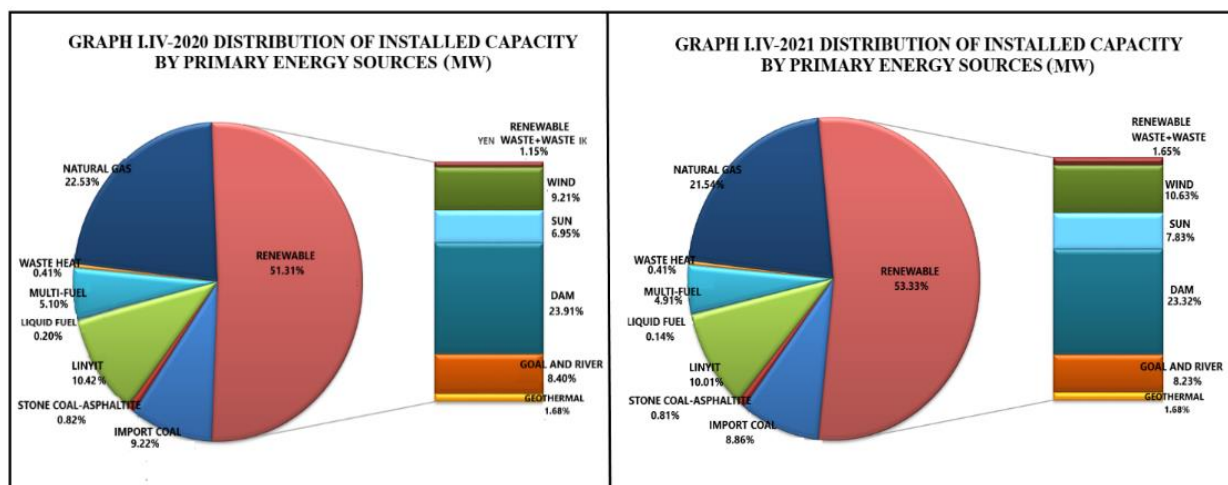
<sup>2</sup>National Defense University, Turkish Naval Academy, Department of Electrical and Electronics Engineering, Istanbul, Turkey, aaltinkok@dho.edu.tr

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author



## 1. Introduction

As the world's population increases, the need for energy also increases with the increase in population. This energy requirement is mostly met by fossil fuels. The energy obtained from fossil fuels causes climate change and environmental pollution by releasing greenhouse gas emissions into the atmosphere. The combustion process of these fuels leads to the release of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>), and a variety of other greenhouse gases into the Earth's atmosphere. These greenhouse gases disrupt the natural balance in the atmosphere and lead to an increase in temperature worldwide. The significance of minimizing fossil fuel consumption and transitioning towards renewable energy sources cannot be overstated. This mounting interest in renewable energy sources stems from the finite nature of fossil fuel reserves and the detrimental environmental impacts they entail. In spite of the growing interest in and adoption of renewable energy sources in recent years, the reliance on fossil fuels remains unabated.



**Figure 1.** Electricity generation share by energy resources in Turkey in 2020 and 2021 (Türkiye elektrik üretim istatistikleri, 2023).

Figure 1 shows the electricity generation rates in Turkey according to energy sources for the years 2020 and 2021. When we look at the electricity production rates according to energy sources in Turkey, it is seen that fossil fuels (coal, natural gas and oil) still have a large share, but recently there have been changes in these rates with the investments made in renewable energy resources. In particular, electricity generation from renewable sources such as hydraulic, biomass, wind, geothermal solar energy has increased. Based on the 2021 data, renewable energy sources account for approximately 53.33% of Turkey's total electricity production (Türkiye elektrik üretim istatistikleri, 2023).

Solar energy holds significant importance and exhibits substantial potential as a renewable energy source. Solar energy has been widely used in the past and today to obtain hot water with thermal applications. These thermal applications involve systems designed to utilize solar energy for water heating and the production of hot water for various purposes. Turkey is one of the countries that can benefit from solar energy in the best way since it has a geographical location where the sunshine duration is high. Various applications and systems for the production of hot water with solar energy are widely used in Turkey. The adoption of photovoltaic (PV) systems, which enable the direct conversion of solar energy into electrical energy, has not yet attained the desired level in Turkey. The utilization of PV systems for solar energy-based electricity generation in Turkey is still in a developmental phase, indicating that its full potential has yet to be realized. Incentives and investments in renewable energy have increased in Turkey and many parts of the world in recent years. These incentives and investments support the development, establishment and growth of renewable energy projects. However, it is very important that this trend is sustainable and continues.

Thermal solar energy emerges as a highly cost-effective renewable energy technology with immense global market potential. With a global installed solar energy capacity accounting for more than 90%, this system is extensively utilized in various domains such as industrial process heating, solar assisted cooling, space heating, and domestic hot water production. PV technology presently represents a technically and commercially mature solution capable of harnessing solar energy to generate and provide short- and medium-term electricity. In 2021, solar PV production achieved a remarkable growth of 179 TWh (22% increase), surpassing 1,000 TWh. At present, solar PV technology constitutes 3.6% of the global electricity production, solidifying its position as the third largest renewable electricity technology worldwide, trailing behind hydropower and wind (Solar PV,2023).

PV/T systems have been developed as a result of innovative approaches in solar energy systems. PV/T systems are hybrid systems formed by combining photovoltaic (PV) and thermal (T) technologies. In conventional photovoltaic systems, sunlight is directly converted into electrical energy, while in PV/T systems, sunlight is converted into both thermal and electrical energy. This results in higher efficiency in solar power generation and allows more efficient management of energy use.

PV/T technology represents a hybrid approach that integrates photovoltaic and solar thermal elements within a unified module, aiming to enhance the maximum efficiency of the module while optimizing spatial utilization. PV/T module exhibits the capability to generate electricity and heat in parallel, enabling it to harness the advantages offered by both solar thermal and photovoltaic technologies. Leveraging the dual functionality of PV/T allows for a greater conversion of solar

energy compared to using PV or solar collectors individually, thereby facilitating the enhanced utilization of solar energy resources.

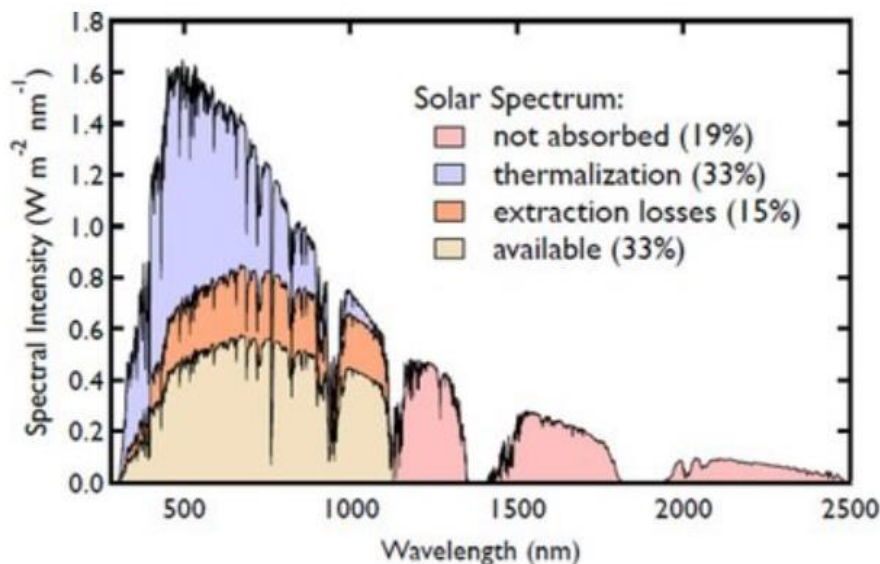
PV/T systems provide a viable solution for individuals seeking to invest in renewable energy sources while simultaneously contributing to the reduction of fossil fuel usage. Furthermore, the ability to store and utilize thermal energy for extended durations enhances energy efficiency and promotes more effective energy utilization. Consequently, PV/T systems represent a significant technological advancement resulting from innovative approaches in solar energy systems.

## **2. Basic Concept of PV/T**

Photoelectric conversion stands as one of the most prevalent methodologies employed to harness solar energy. The relatively high cost associated with photovoltaic electricity generation arises primarily from its inherent low efficiency, typically ranging between 10% and 20%. Enhancing the photoelectric conversion efficiency becomes imperative in order to mitigate the expense per unit power generation. Extensive research indicates that the heat load represents one of the factors contributing to the observed low photoelectric conversion efficiency (Huaxu et al., 2020).

In PV solar cells, the semiconductor materials employed must possess a band gap energy within an appropriate range to effectively capture energy from sunlight. The sun's solar spectrum is concentrated in the visible and near infrared regions of the electromagnetic spectrum, with an energy range of 0.5 eV to 3.5 eV. In PV solar cells, photons excite electrons in the band structure of the semiconductor material and create free charges. However, the band gap energy of the semiconductor sets a threshold value at which the photon should have minimum energy. Therefore, photons with band gap energies between 1.25 eV and 1.45 eV are absorbed by the solar cell and converted into electrical energy. Photons with lower energy (0.5 eV-1.25 eV) are not absorbed because they are below the band gap energy and their energy cannot be used. Therefore, these low energy photons cannot be absorbed by the solar cell and solar energy cannot be utilized. Photons with higher energies (greater than 1.45 eV) have more energy than band gap energy and their excess energy is lost by thermalization (heat transfer). This dissipates as thermal energy and becomes unusable by the PV cell. For these reasons, the band gap energy in PV solar cells must be in a suitable range to effectively capture the energy spectrum of sunlight (Schockley & Queisser, 1961).

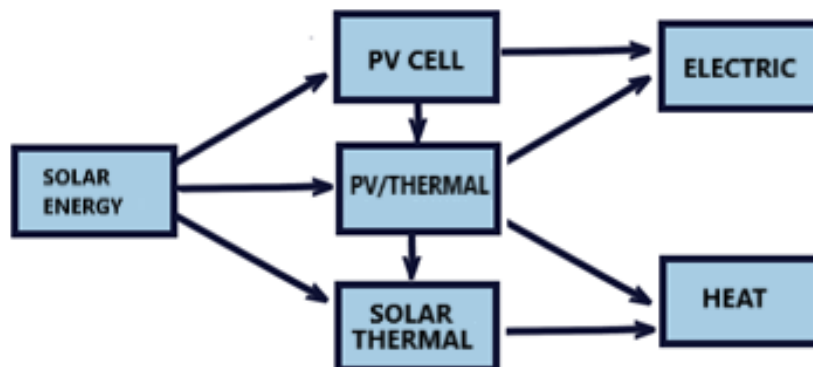
In 1961, William Shockley and Hans Queisser conducted an important study to determine the factors affecting the energy conversion efficiency. This study has become a fundamental reference for determining the theoretical upper limit of efficiency in solar cells, which is called Shockley-Queisser limit. This shows a fundamental restriction on the maximum efficiency attainable by a solar cell, taking into account various factors such as the semiconductor material's band structure and the spectral distribution of sunlight. Theoretical calculations by Shockley and Queisser determined that an ideal semiconductor solar cell has a maximum theoretical efficiency of around 33% for a bandgap of 1.34 eV. This represents the highest attainable efficiency based on theoretical considerations (Fig. 2.).



**Figure 2.** Shockley and Queisser limit (Shockley & Queisser, 1961).

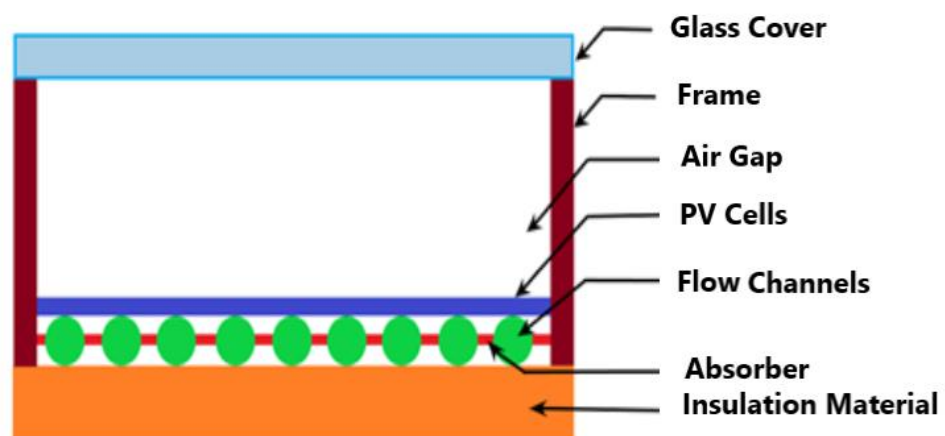
To enhance the electrical efficiency of PV systems and optimize the utilization of incident solar radiation, it is essential to address the dissipation of heat accumulated on the PV surface. The effective management of this heat component is crucial to harness its potential and enhance overall system performance. PV/T, an innovative technology, has been developed to address this requirement by integrating heat extraction components and Photovoltaic cells within a single module. The integration of cooling mechanisms within photovoltaic (PV) cells allows for improved electrical efficiency by effectively managing temperature levels. This integration not only facilitates the cooling of PV cells, but also enables the extraction and utilization of the generated heat for heating purposes. As a result, this approach ensures a dual benefit of enhancing electrical efficiency while making productive use of the extracted heat. By implementing this approach, the PV/T solar collector can achieve greater

efficiency from solar energy, thus enabling better utilization of solar energy. Figure 3 represents the network among different technologies for converting solar energy.



**Figure 3.** Interrelationship of different solar energy conversion technologies

A standard PV/T module demonstrates a sandwich-like configuration, comprising multiple layers. This structure primarily encompasses a top layer consisting of a top-down, transparent thermal flat coating. Positioned beneath this layer is the photovoltaic cell layer, which can either be placed directly underneath the cover with a small air gap or implemented as a commercial PV lamination. Additionally, tubes or channels are integrated within the absorber, allowing for the flow of fluids, while being securely attached to the PV cell layer. A layer with thermal insulation is positioned just beneath the flow channels. All of these layers are securely attached to a framed module using sufficient clamps and connections. Figure 4 illustrates a schematic diagram of the standard PV/T module structure



**Figure 4.** A typical PV/T module cross-section.

The PV/T module can collect different wavelengths of solar energy, resulting in improved energy and exergy efficiency. It has the capability to gather and convert a greater amount of solar energy within a given absorption area compared to individual PV panels or thermal collectors.

Consequently, this technology presents a promising opportunity for cost-effective and efficient power and heat generation (Zhao at al., 2011). A PV/T module represents an integration of a photovoltaic panel and thermal collector, combining their respective functionalities. The total efficiency is obtained by combining of the thermal efficiency ( $\eta_{th}$ ) of the collector and the electrical efficiency ( $\eta_e$ ) of PVs. Thus, the total efficiency can be given in the Equation (1);

$$\eta_0 = \eta_{th} + \eta_e \quad (1)$$

The enhanced efficiency brings significant advantages in terms of preserving the operational well-being of installed PV panels and diminishing energy expenses. Consequently, these advancements result in increased economic benefits for both investors and consumers. (Tripanagnostopoulos at al., 2005).

### 2.1 Enhancing the Thermal Efficiency of PV/T Collectors ( $\eta_{th}$ )

The thermal efficiency ( $\eta_{th}$ ) of a flat plate PV/T collector represents the ratio between the useful thermal energy and the total incident irradiation (I), providing a quantitative measure of the collector's ability to convert solar energy into heat. Mathematically, it can be expressed as follows;

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m}C_p(t_{out}-t_i)}{I_s \times A_c} \quad (2)$$

In this equation, ( $t_i$ ) is the fluid temperature at the collector inlet, ( $t_o$ ) is the fluid temperature at the outlet.  $C_p$  is the specific heat (J/kg K), ( $\dot{m}$ ) is the mass velocity, ( $I_s$ ) is the solar density and ( $A_c$ ) is the collector area of the medium

### 2.2. Enhancing the Electrical Efficiency of Photovoltaic Modules ( $\eta_e$ )

The electrical efficiency ( $\eta_e$ ) of a PV module quantifies the relationship between the measured the total incoming solar radiation and output power, representing the module's ability to convert solar energy into electrical power.

$$\eta_e = \frac{I \times V}{I_s \times A_{panel}} \quad (3)$$

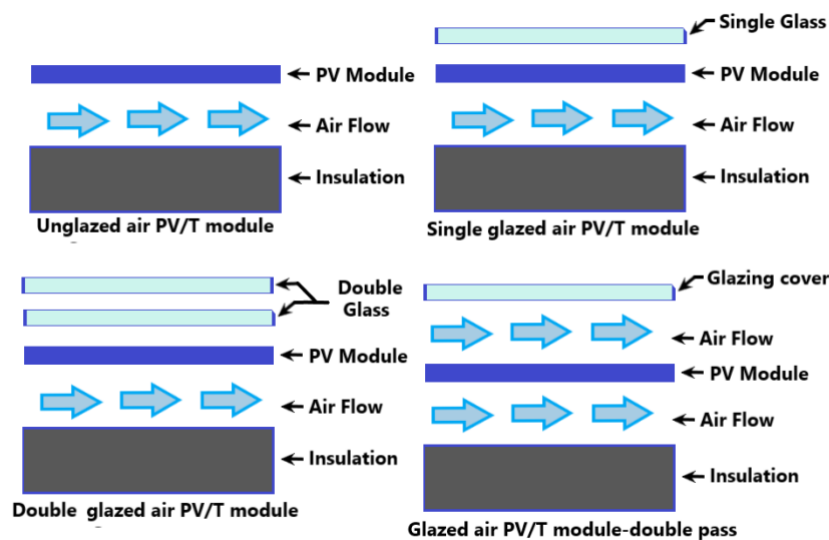
Here,  $A_{panel}$  is the area of the PV panel,  $I$  is the current and  $V$  is the voltage.

### 3. Classifications of PV/T Modules

PV/T modules exhibit significant variations in both structural and functional aspects. These categories of PV/T collectors include air based and water based PV/T configurations.

#### 3.1. Air based PV/T

Air based PV/T module pertains to a solar heating system that integrates an additional layer of photovoltaic material laminated either above or below mechanically or naturally ventilated air ducts, enhancing the overall functionality of the module. This specific PV/T configuration can be implemented by incorporating an air gap between the rear surface of the PV modules and the building structure, such as the facade or pitched roof. Generally, this type of PV/T module is specifically engineered to cater to end-users who require a range of functionalities, such as hot air supply, space heating, enhanced ventilation, agricultural drying, and generation of electricity. In such modules, air can be delivered to the PV absorber from the top, bottom, or both sides, as illustrated in Figure 5. (Zhanga at al., 2012).



**Figure 5.** Cross sections of air-based PV/T modules.

#### 3.2. Water based PV/T

In accordance with the illustration presented in Figure 6, a water-based PV/T module exhibits a structure akin to conventional flat plate solar collectors. The absorber within this module comprises a substantial quantity of PV cells interconnected either in series or parallel configuration, which are securely positioned beneath the absorber using either a coil or a series of parallel pipes. Water is compelled to flow through the pipes, and in the event that the water temperature remains relatively

low, the PV cells experience cooling effects, thereby resulting in an augmentation of electrical efficiency. Simultaneously, the flowing water absorbs the heat generated by the PV cells, thereby becoming heated itself, and is subsequently directed to specific heat devices for the provision of heating. This portion of water can either be consumed or undergo cooling through heating services before being circulated back into the module to recover heat. In comparison to air-based systems, water-based PV/T systems exhibit superior cooling efficiency due to the higher thermal mass of water, leading to elevated levels of both thermal and electrical efficiencies in these systems. (Zhang et al., 2012).

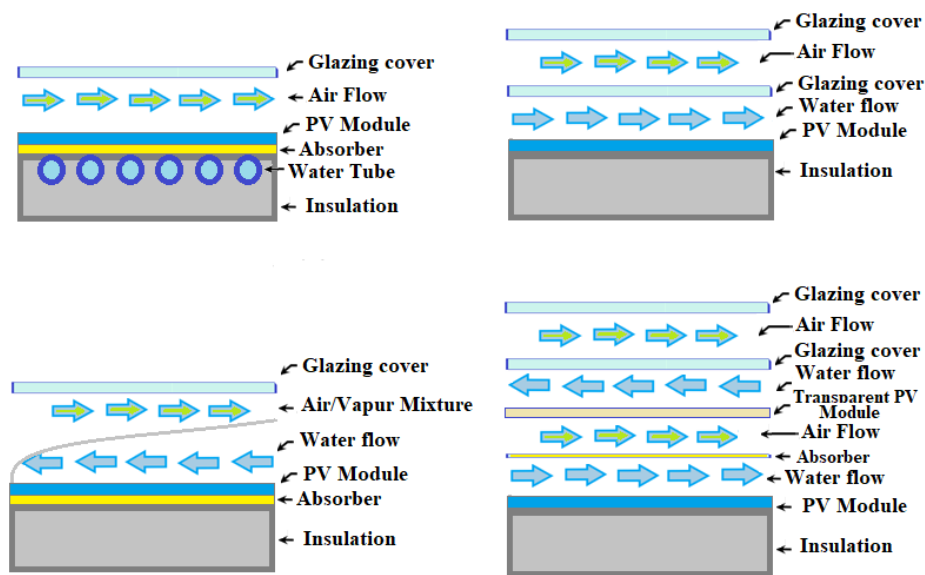


Figure 6. Water PV/T collector types.

### 3.3. General comparison of PV/T types and specifications

Table 3.1 presents a comprehensive comparison of the specifications among the four presently accessible PV/T types. (Quan et al., 2010; Solanki et al., 2009)

Air- and water-based PV/Ts appear to be risk-free and low-cost, and therefore can be considered as more practical systems for application. Air based PV/T has average efficiency %24-47 and water based has average efficiency %33-59, respectively. However, these two systems also have disadvantages, which are discussed in Table 1. In summary, the air-based PV/T type demonstrates suboptimal heat removal performance attributed to its limited thermal mass and less consistent air flow. The type of water, due to the change of water temperature during the working period, the increase in water temperature and the decrease in solar energy efficiency continue to increase, and during high temperature operation, the efficiency of heat removal significantly deteriorates.



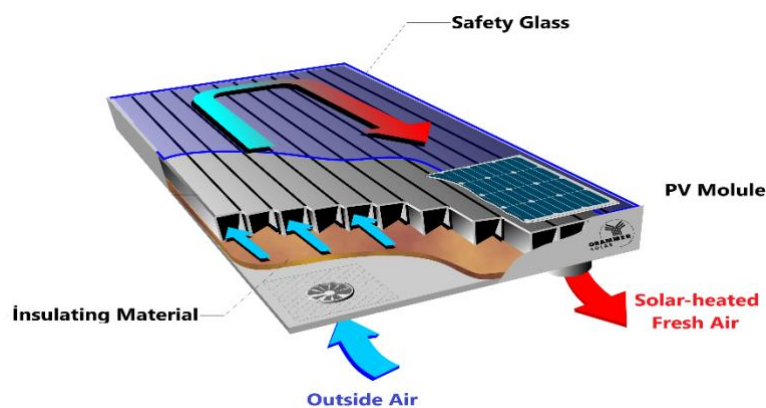
**Table 1.** Comparison of the properties of different heat extraction methods.

PV/T type	Advantages	Disadvantages
Air Based	Simple Structure Low cost	Low thermal mass Large air volume High heat loss Poor thermal removal effectiveness
Water Based	Low cost Direct contribution High thermal mass Low flow volume	High PV temperature Complex structure Risk of leakage Possible piping freezing

#### 4. Utilization of PV/T Technologies In Practical Applications

Although PV/T technology is in its infancy, the demand for PVT collectors has grown rapidly over the past two years. The following section presents a discussion on various commercial products and engineering projects associated with the application of PV/T technology.

Grammer Solar, a German company, has successfully developed an air-based PV/T solar collector known as 'TWINSOLAR.' This collector is specifically designed to preheat ventilation air in buildings, and it features an absorber area ranging from 1.3 to 12.5 m<sup>2</sup> (see Figure 7). The modules can be installed in either vertical or horizontal orientations on rooftops or on facades facing south, southeast, or southwest. Up to 125 m<sup>3</sup> of fresh hot air per hour is supplied to the room by the TWINSOLAR compact 2.0 and the system works reliably not only on sunny days but even when it is cloudy (Twinsolar, 2023)



**Figure 7.** 'TWINSOLAR' PV/T product (Twin solar, 2023).

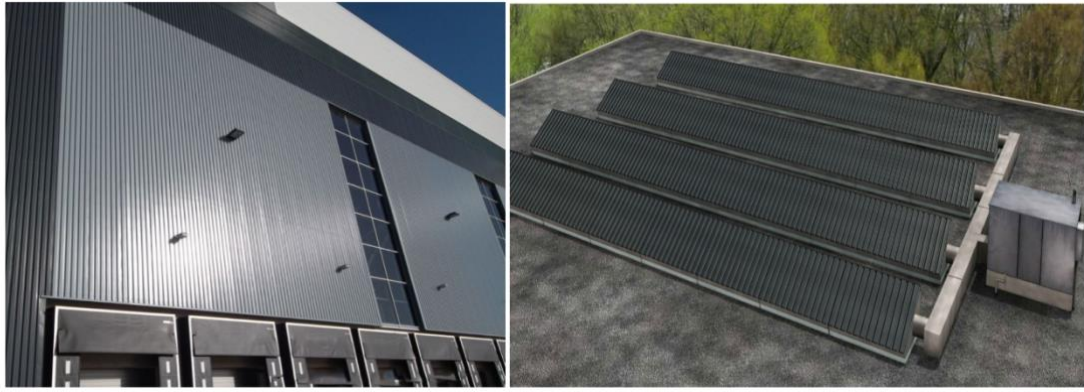
Within Denmark, SolarVenti units serve as primarily utilized solutions for providing ventilation, supplemental heating, and air dehumidification. Notably, larger capacity SolarVenti models demonstrate substantial thermal energy outputs and facilitate significant air circulation driven by buoyancy effects. These systems harness thermal energy from direct solar radiation across the entire spectrum, supplementing the space heating systems within residential or commercial buildings. Table 2 outlines the energy outputs associated with various SolarVenti models. (Solar Air Colectors, 2023).

**Table 2.** Energy output of different Solarventi models (Solar Air Colectors, 2023).

<b>Model</b>	<b>Air volume (m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>Temperature increase (°C)</b>	<b>Efficiency (%)</b>	<b>Annual Estimated Energy (kWh)</b>
SV14	110	~30	66	660
SV20	140	~30	67	1340
SV30	200	~40	70	2100

Conserval Engineering, a Canadian company, offers SolarWall and rooftop SolarDuct products. SolarWall, an exclusive solar air heating system, effectively utilizes ventilation air for building heating and can be installed on walls or roofs to serve various purposes, such as building heating and facilitating agricultural and manufacturing drying operations. SolarWall represents a PV/T integrated system that boasts a considerably shorter payback period compared to standalone PV systems. In 2014, the SolarWall system was recognized by the American Society of Mechanical Engineers (ASME) as one of the nine most remarkable energy innovations of the past two centuries, alongside groundbreaking advancements such as the jet engine, electric generator, and light bulb.

Similar to the original SolarWall technology, SolarDuct systems harness solar energy to heat the ventilation air in buildings, leading to reductions in energy consumption, heating expenses, and greenhouse gas emissions. The implementation of rooftop solar heating plays a pivotal role in attaining Zero Carbon or Net Zero Energy Building objectives. These systems feature modular SolarDuct units that are installed and positioned in a manner akin to conventional PV solar panels, allowing the resulting SolarDuct arrays to seamlessly integrate with pre-existing rooftop mechanical equipment. (Solarwall, 2023). Figure 8 shows the product lines available in this company.



**Figure 8.** Solar air PV/T products from 'Conserval Engineering' (Solarwall, 2023).

Millennium Electric Ltd', an innovative company based in Israel, has introduced a groundbreaking PV/T System that revolutionizes solar energy utilization. This pioneering system enables the simultaneous conversion of solar energy into both thermal and electrical forms through a single hybrid configuration, visually represented in Figure 9 (Milenyum Solar, 2023). The Multi Solar System comprises panels resembling facade and roof tiles, designed to act as an active shell enveloping buildings. This inventive approach not only generates electricity but also actively regulates temperature within the living spaces. Achieved by facilitating the flow of water to cool the PV cells, the system efficiently captures and stores heat in a well-insulated tank. The integrated design showcases the company's commitment to sustainable energy solutions and marks a significant stride in advancing solar technology.



**Figure 9.** 'Millennium Electric PV/T System (Milenyum Solar, 2023).

Absolicon is a Swedish-based company and its focus is the development and production of concentrated solar collectors. These collectors are used to harness solar energy for a variety of applications such as heating, cooling and electricity generation. Absolicon's technology works by focusing the sun's rays onto a receiver tube using mirrors. The receiver tube contains a heat transfer

fluid heated by concentrated solar energy. This heated liquid can be used for different purposes such as heating water or generating steam for power generation.

The T160 Solar Collector, one of the products of Absolicon company shown in Figure 10, is designed for applications used on an industrial scale. This collector uses mirrors to collect solar energy in a highly efficient manner and can track the sun's movement. This collector includes a tracking system that tracks the sun's path throughout the day, maximizing the capture of solar energy. The T160 collector can be integrated into different systems such as heating networks, industrial processes and solar power plants (Absolicon, 2023).



**Figure 10.** 'T160' PV/T system from 'Absolicon' (Absolicon, 2023).

DualSun is a French company that produces dual-function solar panels. The company integrates solar panels into both photovoltaic (PV) systems for electricity generation and thermal (solar thermal) systems for hot water production. DualSun solar panels, shown in Figure 11, are capable of using solar energy for both electricity and hot water production at the same time. While these panels can generate electricity from sunlight via photovoltaic cells, they can also heat water via thermal pipes on the back of the panel. Thus, it is possible to obtain both electrical energy and hot water from a single panel. DualSun solar panels can be used in a variety of applications. For example, they can be used to meet electricity and hot water needs in residential, commercial and industrial facilities (Dualsun, 2023).



**Figure 11.** DualSun solar panels (Dualsun, 2023).

In Figure 12, Türkiye-based Solimpeks company produced Excel PV-T Hybrid panels. Excel PV-T hybrid panels both use sunlight to generate electricity from photovoltaic (PV) panels and collect solar energy via thermal collectors to heat water or use in heating systems. These panels combine two different technologies to use solar energy more efficiently. Excel PV-T hybrid panels can be used in various applications. They can be used in homes, businesses, industrial facilities and agricultural applications to increase energy efficiency (Solimpeks, 2023).



**Figure 12.** Excel PV-T Hybrid solar panels (Solimpeks, 2023).

## 5. Conclusion and Recommendations

Hybrid photovoltaic thermal systems are composed of integrated PV modules and heat evacuation units that are combined during installation. These systems possess the unique capability of generating both thermal and electrical energy simultaneously, resulting in a notably increased conversion efficiency of absorbed solar radiation compared to standalone photovoltaic systems. The



demand for concurrent heat and electricity is prevalent across various sectors, including industries engaged in processes such as solar cooling, water desalination, solar greenhouse utilization, solar still operation, and solar heat pump functionalities. Given that industries exhibit substantial energy requirements for both heat and electricity, hybrid PV/T systems emerge as a compelling and practical solution to address the ever-growing energy needs associated with these diverse applications.

In regions with warm climates, photovoltaic systems often experience reduced efficiency due to the absence of sufficiently low ambient temperatures to cool the PV cells. The integration of a PV/T system offers a strategic solution by positioning a solar collector behind a solar photovoltaic (PV) array, providing selective cooling for the PV cells. This innovative approach not only enhances the overall efficiency of the system but also captures and repurposes a significant portion of the otherwise wasted energy, redirecting it for practical and effective applications. By utilizing water or air as cooling mediums within the solar collector, PV cells can be efficiently cooled, offering precise control over the circulation liquid's flow rate to maintain an optimal operating temperature range. This integrated approach to cooling and energy capture represents a promising advancement in photovoltaic technology, especially in regions with high solar exposure and elevated temperatures.

After conducting an extensive review of the existing literature, it becomes apparent that PV/T collectors possess significant potential as devices. However, there exists a clear need for concerted endeavors aimed at cost reduction and improved competitiveness. Focusing on elevating the efficiency and concurrently decreasing the expenses associated with PV/T collectors stands as pivotal measures to bolster the competitive edge of this technology. By addressing these key factors, the pathway towards establishing PV/T collectors as a formidable contender in the renewable energy landscape becomes more viable. Future work may focus on the following areas:

1. **Increasing Efficiency:** Studies should be carried out to increase the photovoltaic and thermal efficiency of PV/T collectors. Studies can be made on improved photovoltaic cells, thermal collection efficiency increasing design optimization and more efficient heat transfer techniques.

2. **Integration and Design Improvement:** The integration and design of PV/T collectors can be improved in terms of energy efficiency and thermal management. Focus can be placed on an efficient temperature control system, optimized PV/T configurations, and more efficient cooling methods.

3. **Material and Production Costs:** In order to reduce the costs of PV/T collectors, studies should be done on material selection, production processes and economies of scale. Steps such as the use of cheaper and more efficient materials, automation and the development of mass production techniques can reduce costs.

4. Marketing and Promotion Policies: Marketing strategies and incentive policies should be developed to encourage more widespread use of PV/T collectors. Measures such as government incentives, tax cuts and energy policies can encourage the adoption of PV/T technology.

Such studies will be important steps to increase the efficiency of PV/T collectors, reduce their costs and make them more competitive. In this way, more effective and sustainable energy systems that can use solar energy as both electricity and heat can be provided.

### Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

### Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

### References

- Absolicon, (2024). Retrieved, from <https://www.absolicon.com/solar-technology/> (Date Accessed: January 18, 2024)
- Dualsun, (2024). Retrieved from <https://dualsun.com/en/solutions/solar-electricity/> (Date Accessed: January 05, 2024)
- Huaxu, L., Fuqiang, W., Dong, Z., Ziming, C., Chuanxin, Z., (2020). "Experimental Investigation Of Cost-Effective Zno Nanofluid Based Spectral Splitting Cpv/T System" Energy, Issn: 0360-5442, Vol: 194, pp. 116913. doi: 10.1016/j.energy.2020.116913
- Millenyum Solar, (2023). Retrieved, from <http://www.amitecmillenniumsolar.com/Products.html> (Date Accessed: October 25, 2023)
- Schockley, W., Queisser, H.J.J., (1961). "Detailed balance limit of efficiency of p-njunction solar cells", J Appl. Phys., vol. 32, pp. 510-519 doi:10.1063/1.1736034
- Solanki, S.C., Dubey, S., Tiwari, A., (2009) "Indoor simulation and testing of photovoltaic thermal (PV/T) air collectors," Applied Energy, Elsevier, vol. 86(11), pp 2421-2428
- Solar Air Collector, (2023). In Solarventi, Retrieved from <https://www.solarventi.com/product-category/solar-air-colectors> (Date Accessed: May 25, 2023)
- Solar PV, (2023). In IEA. Retrieved, from <https://www.iea.org/reports/solar-pv> (Date Accessed: December 12, 2023)
- Solimpeks, (2023). Retrieved from <https://www.solimpeks.com.tr/hibrit-pv-t-panel/> (Date Accessed: December 09, 2023)
- Solarwall, (2024). Retrieved from <https://www.solarwall.com/technology>. (Date Accessed: January 15, 2024)
- Technologies", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier. Vol 16 pp. 599-617 doi:10.1016/j.rser.2011.08.026
- Türkiye elektrik üretim istatistikleri. (2023). Retrieved from <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri> (Date Accessed: November 22, 2023)
- Twinsolar, (2023).In Grammer Solar, Retrieved from <https://grammer-solar.com/de/solarluft/solarluft-kollektoren/twinsolar.html> (Date Accessed: November 22, 2023)
- Tripanagnostopoulos, Y., Souliotis, M., Battisti, R., Corrado, A., (2005) "Energy cost and LCA results of PV and hybrid PV/T solar systems",Prog. Photovoltaics Res. Appl. Vol. 13 (3) pp.235-250 doi:10.1002/pip.590

- Quan, Z., Li, N., Zhao, Y., Tang, X., (2010) “The experiment research for solar PV/T system based on flat-plate heat pipes” In: Proceeding the 17th Chinese national HVAC&R academic conference. doi:10.1109/APPEEC.2011.5749155
- Zhao, X., Zhang X., Riffat S.B., Su X., (2011). “Theoretical investigation of a novel PV/e roof module for heat pump operation”, *Energy Convers Manage*, vol. 52 pp. 603–614 doi:10.1016/j.enconman.2010.07.036
- Zhanga, X., Zhaoa, X., Smitha, S., Xub, J., Yuc, X., (2012) “Review of R&D progress and practical application of the solar photovoltaic/thermal (PV/T)



## Antalya, İzmir ve İzmit Körfezlerinin Sedimentlerinde Ağır Metal Birikiminin Mevsimsel Olarak İncelenmesi

Ersan Oğuzhan PINAR<sup>1\*</sup>, Mustafa TÜRKMEN<sup>2</sup>

### Öz

Bu çalışmada Antalya, İzmir ve İzmit körfezi olarak seçilen üç örnekleme noktasında çevresel kirlilik seviyelerinin ölçülmesi için 4 mevsim alınan sediment örneklerinin ağır metal içerikleri analiz edilmiştir. Sedimentlerde ağır metal kirlilik seviyelerini belirleme analizlerinde ise Cu, Cd, Zn, Cr, Ni ve Pb ağır metal konsantrasyonları sediment kalite kılavuzu (SQG) değerlerine göre ppm olarak karşılaştırılmıştır. Değerlendirme sonuçlarına göre kurşun (Pb), çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd) konsantrasyonlarının tüm körfezlerde ve tüm mevsimlerde sınır değerlerin altında kaldığı ölçülmüştür. Körfezleri kirlilik bakımından en yüksek derecede etkileyen ağır metaller, sediment kalite kılavuzuna göre belirlenmiş olan TEL (eşik etki seviyesi), LEL (en düşük etki seviyesi) ve MET (minimum etki eşiği) etki seviyeleri ile karşılaştırıldığında; Ni, Cr ve Cu olarak belirlenmiş olup, özellikle bu ağır metallerin bazı sediment ortamlarındaki konsantrasyonları kabul edilen belirli kirlilik kriter seviyelerinin çok üzerinde olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Sediment, Kontaminasyon, Sediment kalite kılavuzu, Metal.

## Seasonal Investigation of Heavy Metal Accumulation in Sediments of Antalya, Izmir and Izmit Bays

### Abstract

In this study, heavy metal contents of sediment samples taken in 4 seasons were analyzed to measure environmental pollution levels at three sampling points selected as Antalya, Izmir and Izmit bays. In analyzes to determine heavy metal pollution levels in sediments, heavy metal concentrations of Cu, Cd, Zn, Cr, Ni and Pb were compared in ppm according to sediment quality guide (SQG) values. According to the evaluation results, it was measured that lead (Pb), zinc (Zn) and cadmium (Cd) concentrations remained below the limit values in all gulfs and in all seasons. When the heavy metals that affect the bays to the highest degree in terms of pollution are compared with the TEL (threshold impact level), LEL (lowest impact level) and MET (minimum impact threshold) impact levels determined according to the sediment quality guide; They were determined as Ni, Cr and Cu, and especially the concentrations of these heavy metals in some sediment environments were determined to be well above certain accepted pollution criterion levels.

**Keywords:** Sediment, Contamination, Sediment quality guide, Metal.

<sup>1,2</sup>Giresun Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Giresun, Türkiye, [ersanpinar87@hotmail.com](mailto:ersanpinar87@hotmail.com)  
[mturkmen65@hotmail.com](mailto:mturkmen65@hotmail.com)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 29.01.2024

Kabul/Accepted: 13.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Çevre kirliliği doğal ekosistemler ve insan sağlığı açısından önemli bir sorundur. En büyük çevre sorunlarından biri ağır metal kirliliğidir. Ağır metaller fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak parçalanamaz (Duffus, 2002)

Günümüzde aşırı popülasyon artışı, aşırı endüstriyel gelişme, tarımsal çalışmalar ve insan faaliyetleri sonucunda iç sularda kirletici düzeylerinde önemli artışlar görülmektedir. Önemli bir çevre sorunu olan su kirliliğinin, su ile hava, toprak gibi diğer ekosistemler arasındaki bağlantıdan, insan faaliyetlerinin etkilerine kadar pek çok sebebi bulunmaktadır. Bu kirleticilerin doğrudan ve dolaylı olarak doğaya zorla salınması doğanın dengesini hızla bozmaktadır. Kirleticilerin su kütlelerine ulaşması ve bu alanlarda insan yaşamını etkileyen fizikokimyasal ve biyolojik değişimlere neden olması, halkın bu soruna olan ilgisini ve endişesini artırmaktadır (Parlak, 1985; Yarsan ve ark., 2000; Duman, 2005; Türkmen, 2011).

Sucul ekosistemlerin kirlenmesi, çevre kirliliğinin önde gelen sorunlarından biridir. Ağır metal kirliliği ise bu sorunun alt dallarından biridir ve hem doğal hem de insan yapımı sucul ortamlarda yaşayan organizmalar için büyük bir tehdit oluşturur (Karadavut vd. 2012).

Sucul sistemlerin ana bileşeni olan sediment, birçok sucul organizma için yaşam alanı olarak hizmet ederken, aynı zamanda beslenme, üreme ve yetiştirme alanı olarak da işlev görür. İnsan kaynaklı kimyasallar, atık maddeler ve organik/inorganik bileşikler gibi kirleticiler, sucul sistemlerde sedimentte birikme eğilimindedir ve burada bir depo görevi görür. Ağır metaller gibi kirleticiler genellikle partikül maddelere bağlanarak çöker ve sedimentle birleşir. Sonuç olarak, sediment, su sütunu, organizmalar ve nihayetinde bu organizmaları tüketen insanlar için potansiyel kirleticilerin kaynağı olarak hizmet eder. Sediment kontaminasyonunun, sucul ekosistemler için temel tehditlerden biri olduğu kabul edilmektedir (Pham vd., 2007; Peng vd.,2008).

Sediment tabakası, kirleticilerin depolandığı bir biriktirici alandır (Taylan ve Özkoç, 2007). Ağır metallerin sedimentte birikimi, kayaçların aşınması, erozyon, inorganik partiküllerin ve ölü organizmaların tabana çökmesiyle gerçekleşir (Salomans ve ark., 1987; Keskin, 2012). Suda çözünmeyen ve su ortamına farklı yollarla taşınan ve biriken maddeler, sedimente çökerek organik madde ve kil mineralleri gibi sedimentin farklı bileşenleri ile birleşir. Ağır metal birikimi artan sediment tabakası doygunluğa ulaştığında, bu metalleri suya tekrar bırakır ve kirletici durumuna gelir. Bu nedenle sedimentler, su kütlelerinde ağır metaller için depolama yerleri olarak kabul edilir. Sedimentlerde biriken bu metaller, besin zinciri yoluyla diğer canlılara aktarılabilir. Bundan dolayı su kaynaklarının toksik etki düzeyi düzenli olarak izlenmeli ve kontrol altında tutulmalıdır (Katip, 2010; Şavran, 2022).

Su kalitesini ve dolayısıyla suda yaşayan organizmaları önemli ölçüde etkileyen sediment, biyolojik çeşitliliğin ve ekolojik durumun belirleyicisi olması nedeniyle, kirlilik kaynaklarının belirlenmesinde ve rutin su örnekleme istasyonlarının seçiminde önemli bir rol oynar, sediment analizleri ise kritik bir öneme sahiptir (Gale vd., 2006). Sediment ve suda bulunan ağır metal konsantrasyonları, sıcaklık, pH ve çözünmüş madde konsantrasyonu gibi birçok parametreye bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Banerjee ve ark., 2016). Kirlenmiş sedimentlerin çevresel etkilerini değerlendirirken, genellikle toplam konsantrasyonlar hakkında bilgi yeterli olmaz. Çünkü ağır metaller farklı kimyasal form ve jeokimyasal fazlarda bulunabilir ve bu da alım ve kullanımlarının farklılık göstermesine neden olur (Burdige, D.J., 1993). Ek olarak, metalin sedimentteki bulunma şekli, sıcaklık, pH, elektriksel iletkenlik, toplam organik madde miktarı ve redoks potansiyeli gibi fiziksel ve kimyasal özelliklerden etkilenebilir (Barkay vd., 1997; Howari ve Banat, 2001; Canário vd., 2007).

Su kirliliğinin seviyesini belirlemek için önemli olan ana ağır metaller; bakır (Cu), nikel (Ni), çinko (Zn), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb) ve krom (Cr)'dir. Bu metallere bazıları, örneğin Cu, Ni, Cr ve Zn, organizmalar için yaşamsal elementler olmasına rağmen yüksek konsantrasyonlarda toksiktir (Parlak,1985). Türkiye'deki sucul alanlarda yapılan araştırmalara göre, örnekleme yapılan ağır metal analizlerini içeren makalelerin %90'ında kurşun (Pb) ve bakır (Cu) metalleri incelenmiştir. Bu analizlerden sonra en sık kadmiyum (Cd) (%79) ve çinko (Zn) (%75) metalleri üzerinde çalışılmıştır (Karayakar ve ark., 2007 ; Basmacı ve ark., 2021).

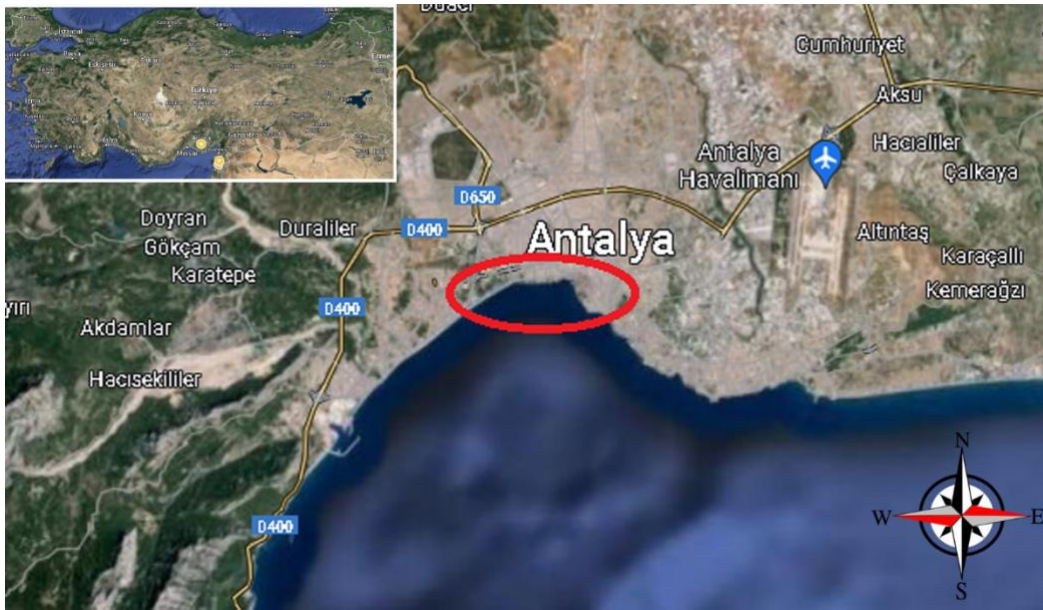
Sediment araştırmaları, özellikle ağır metallerin ve organik hidrofobik kirleticilerin (pestisitler, klorlu hidrokarbonlar vb.) çevresel etkilerinin belirlenmesinde uzun yıllardır kullanılmaktadır (Bubb ve Lester, 1994).

Ülkemizde, ağır metallerin sediment, su ve balıklarda birikimini araştırmak için birçok çalışma yapılmıştır (Balkıs ve ark., 2007; Aksu ve ark., 2011; Mülayim ve ark., 2011). Bu çalışmalarda, doğrudan deniz suyundan izole edilen bakterilerde ve farklı balık organlarından izole edilen bakterilerde yüksek düzeyde ağır metal direnci olduğu belirlenmiştir. Özellikle, Ege ve Akdeniz Bölgeleri'nde deniz ortamında yapılan araştırmalarda, midye gibi diğer sucul organizmalarda biyobirikim incelemeleri büyük ilgi görmektedir (Karayakar ve ark., 2007 ; Akbulut ve Akbulut, 2010; Başyigit ve Tekin-Özan, 2013; Kükreer ve ark., 2015; Aydın-Önen ve ark., 2015; Erol ve ark., 2016).

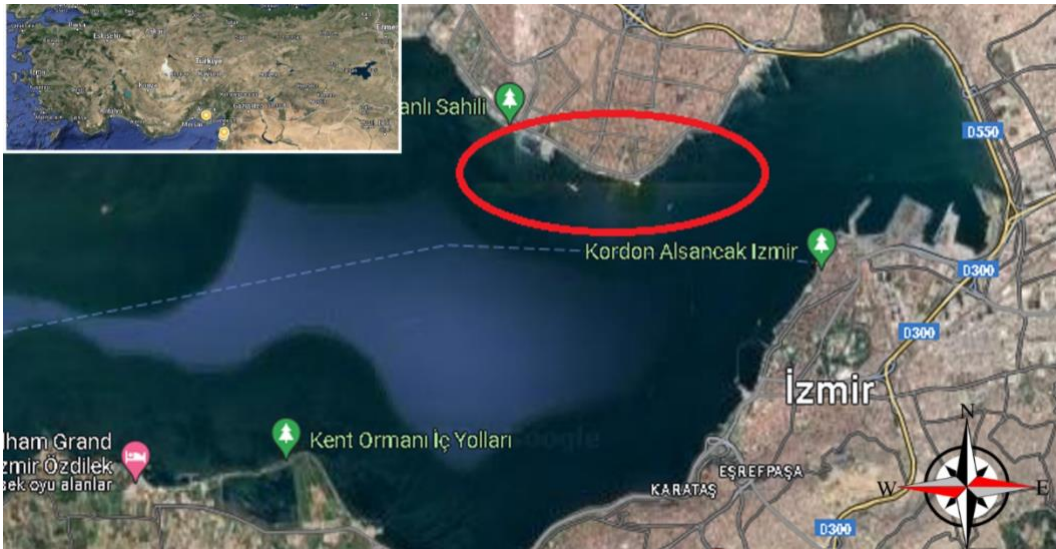
Bu çalışmada, Antalya, İzmir ve İzmit körfezlerinden alınan sediment örneklerinde Cu, Cd, Zn, Cr, Ni, Pb gibi metallerin birikim düzeylerinin mevsimlere göre nasıl değiştiği incelenmiştir. Bu şekilde, kirliliğin boyutları hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Örnek Toplama Alanları

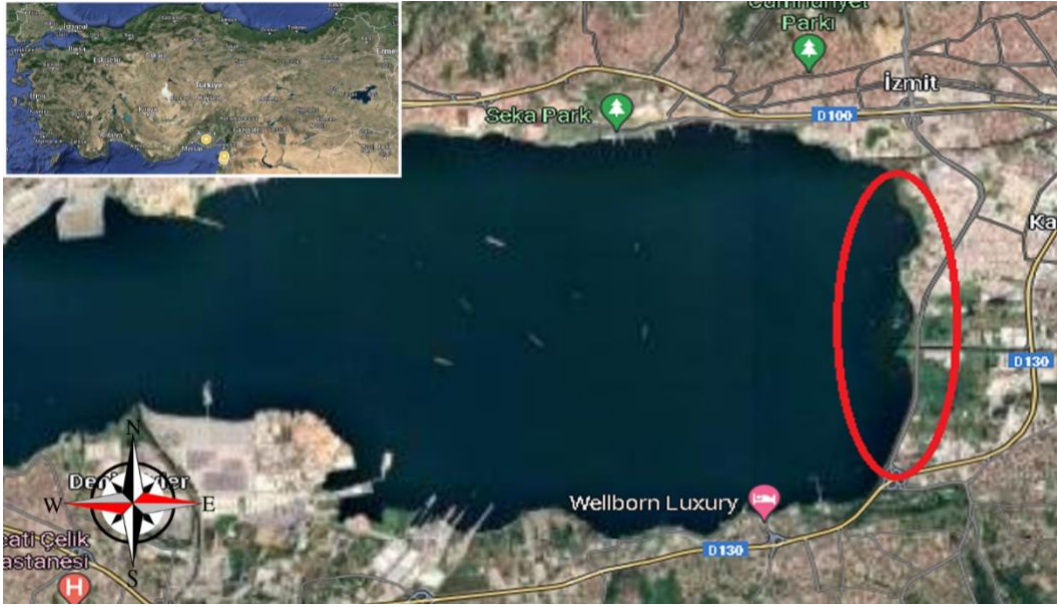
Bu çalışma Ocak 2021-Aralık 2021 tarih aralığında yapılmıştır. Örnekler Antalya (36.881634° Kuzey Paraleli- 30.693253° Doğu Meridyeni ve 36.744826° Kuzey Paraleli-31.463717° Doğu Meridyeni), İzmit (40.726271° Kuzey Paraleli- 29.938466° Doğu Meridyeni ve 40.751959° Kuzey Paraleli-29.937522° Doğu Meridyeni), İzmir (38.466430° Kuzey Paraleli- 27.070977° Doğu Meridyeni ve 38.463341° Kuzey Paraleli-27.140954° Doğu Meridyeni) Körfezlerinin değişik bölgelerinden (Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 2.3) çeşitli analizler yoluyla ağır metal birikiminin sedimentteki düzeylerinin tespiti için 4 mevsim periyotlarla alınmıştır.



Şekil 2.1. Örnek Toplama Antalya Körfezi İstasyonu



Şekil 2.2. Örnek Toplama İzmir Körfezi İstasyonu



Şekil 2.3. Örnek Toplama İzmit Körfezi İstasyonu

Araştırmada çalışılan Antalya, İzmir ve İzmit Körfezi örnekleme sahaları jeomorfolojik ve hırdo coğrafya yapısı olarak farklılıklar göstermektedir.

Antalya Körfezi doğu Akdeniz bölgesinde yer alır ve karmaşık bir tektonik ortam ile karakterizedir (Güven ve Özbaş, 2022). Antalya Körfezi, çok çeşitli sucul canlılara ev sahipliği yapmaktadır. Antalya Körfezi'nin su ve sedimentindeki metal seviyeleri jeokimya, sanayi, turizm faaliyetleri, kentleşme ve su ürünleri yetiştiriciliği gibi faktörlerden etkilenmektedir (Tekin-Özan, 2015). Genel olarak, Antalya Körfezi, çeşitli çevresel faktörlerden etkilenen zengin ve çeşitli bir su ekosistemi sergilemektedir.

İzmir körfezi, rüzgâr ve termohalin kuvvetlerinden etkilenen baskın dolaşım düzeni ile karakterizedir (Erdem, Sayın ve Eronat, 2017). İzmir'in iç körfezi, feribot taşımacılığı ve uluslararası bir liman dahil olmak üzere ulaşım faaliyetleriyle tanınır. Akıntıların ve atık deşarjlarının varlığı nedeniyle sürekli kimyasal kirleticilere maruz kalmaktadır. Körfez ayrıca aktif faylardan etkilenir ve erken Miyosen'den beri tektonik evrim geçirmiştir. Ek olarak evsel ve endüstriyel atıklar, atık su deşarjı ve tarımsal faaliyetler dahil olmak üzere kirlilik zorluklarıyla karşı karşıyadır. Körfezdeki Alsancak Limanı, özellikle gemilerden kaynaklanan hava kirliliği açısından riskli bir alan olarak tanımlanmıştır (Töz ve artk., 2021). İzmir Körfezi, Türkiye'de endüstriyel büyüme ve kentleşme yaşamış, hem su hem de peyzajda kirliliğe ve çevre kirliliğine yol açan bir kıyı bölgesidir (Levent, Yurga, 2022).

İzmit Körfezi, deniz biyoçeşitliliği ve ekosistem açısından önemlidir. Körfez, Türkiye'nin oldukça sanayileşmiş ve nüfuslu bir bölgesinde yer almaktadır ve bu da onu kirliliğe ve çevre felaketlerine karşı savunmasız hale getirmektedir (Taskin, Kavzoğlu ve Goral, 2022). Kirleticilerin



ve besin dengesizliklerinin varlığını gösteren kırmızı gelgitler ve zararlı fitoplankton varlığı belirtilmiştir (Erdoğan, 2022).

### 3. Materyal ve Metot

Antalya Körfezi, İzmir Körfezi ve İzmit Körfezi'nde belirtilen bölgelerden Ocak 2021- Aralık 2021 tarihleri arasında 4 mevsim, 3 noktadan 5'er adet örnek alınmıştır. Örnekler, 15x15x15 cm boyutlarında Ekman Tipi sediment kepçesi kullanılarak toplanmıştır. Toplanan sedimentler plastik bir kap içinde karıştırılmış, ardından her körfez için 10'ar gram olmak üzere 5'er adet alt örnek alınmıştır (toplamda 5 tekrar). Bu örnekler ayrı polietilen kaplara konularak üzerlerine nitrik asit eklenmiştir (Moody and Lindstrom, 1977). Buz korumalı kaplarda analizlerin yapıldığı Sinop Üniversitesi laboratuvarına getirilen bu alt örnekler, 70°C'de sabit ağırlığa gelene kadar etüvde kurutulmuş ve havanda öğütülmüştür. Ardından büyük parçacıklar plastik eleklerle elenerek atılmıştır. Kalan örnekler 0,5 gram ağırlığında alınmıştır (Agemian ve Chau, 1975; Lorin ve Rantala, 1992; Bilos ve ark., 1998; Tanner ve Leong, 2000), çalışmalarında belirtilen yöntemlere uygun olarak CEM MARS-5 marka mikrodalga fırında asit muamelesiyle çözülmüştür (Sastre ve ark., 2002). Elde edilen renksiz ve berrak solüsyon, soğumaya terk edildikten sonra filtre edilip, deiyonize su ilavesiyle 100 ml'ye tamamlanarak, seyreltilmiştir. Mavi bant, bir filtre kartından geçirilerek analiz için hazırlanmıştır. Analiz edilen ağır metal elementleri Cu, Cd, Zn, Cr, Ni, Pb' dir. Numunelerin element içeriği, bir Bruker Model 820-MS ICP-MS spektrometre kullanılarak ppm aralığında belirlenmiştir.

### 4. İstatistik Hesaplamalar

Veriler, mevsimsel ve istasyon bazında gruplandırılmış ve ortalama ile standart hata değerleri hesaplanmıştır. Sedimentlerdeki ağır metal konsantrasyonları, mevsimlere ve istasyonlara göre olan farklılıklar tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile incelenmiştir (Şenocak, 1998; Özdamar, 1999). Bütün istatistiksel analizler, SPSS ve Statistica paket programları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 5. Bulgular

Ocak 2021-Aralık 2021 döneminde Antalya, İzmir ve İzmit körfezlerinden alınan sediment örneklerinde ölçülen ağır metal konsantrasyonlarının mevsimsel ortalama ve eşik değerleri, Sediment Kalite Kılavuzu (SQG) tarafından belirlenen eşik değerlerle karşılaştırılmıştır. SQG, çeşitli çevresel endişelerle başa çıkmak ve düzenleyici programlara yanıt olarak geliştirilmiştir. Sediment kontaminasyonu geleneksel olarak, tek tek bileşiklerin kimyasal konsantrasyonları değerlendirilerek

ve bunların arka plan veya referans değerleri ile karşılaştırılarak belirlenmiştir (USEPA, 1987; Great Lakes Water Quality Board, 1982; Gambrellvd, 1983; Thomas, 1987).

Dört mevsim boyunca alınan sediment örneklerinin ağır metal analiz sonuçları, Çizelge 1'de belirtilen sediment kalite kılavuz değerlerinde yer alan en düşük eşik etki seviyesi (TEL), etki seviyesi (LEL), minimum etki eşiği (MET) konsantrasyonlarına göre değerlendirilmiştir.(Burton, 2002).

**Çizelge 1.** Ağır Metaller için etki eşiği sediment kalite kılavuzu (SQG) değerleri

SQG (ppm)	Kadmium (Cd)	Krom (Cr)	Bakır (Cu)	Kurşun (Pb)	Nikel (Ni)	Çinko (Zn)	Referans
TEL	0.6	37.3	35.7	35	18	123	A
LEL	0.6	26	16	31	16	120	A
MET	0.9	55	28	42	35	150	B

SQG (Sediment quality guideline): sediment kalite kılavuzu, TEL(thres hold effect level): eşik etki seviyesi, LEL (lowest effect level): en düşük etki seviyesi, MET (minimal effect thre shold): minimum etki eşiği,

A: NOAA, 1999

B: Burton, 2002

**Tablo 1.** Mevsimlere ve istasyonlara göre sedimentte ağır metal konsantrasyonları (ppm)

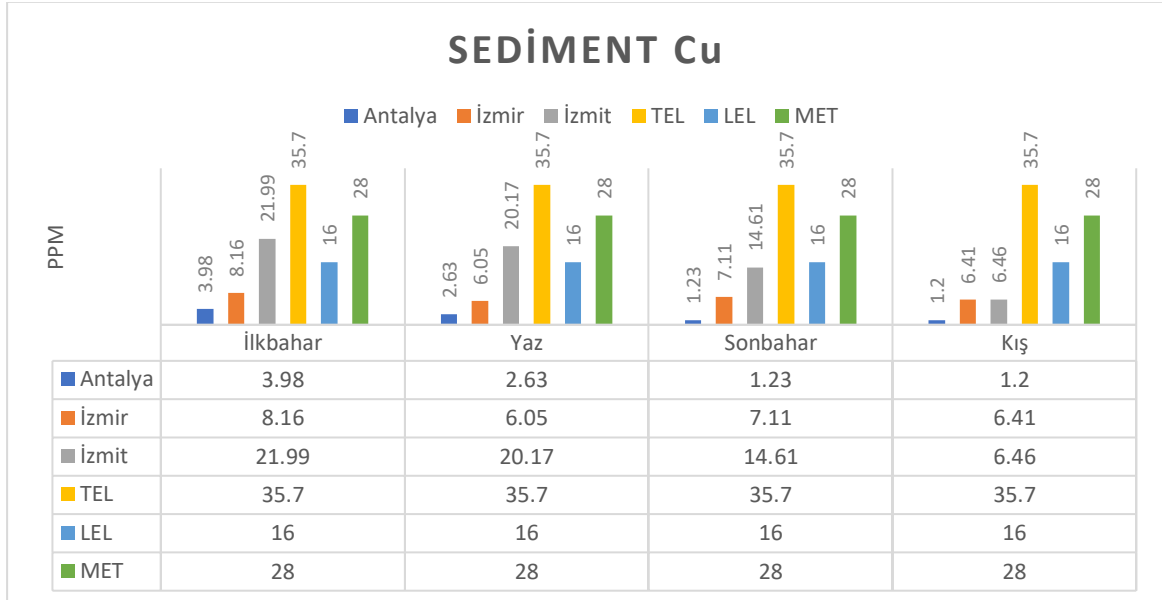
MEV	İST	Cu	Zn	Cr	Cd	Ni	Pb
İLKB	ANT	3,98±0,01 <sup>c</sup>	14,54±0,11 <sup>c</sup>	26,12±0,11 <sup>f</sup>	0,09±0,00 <sup>d</sup>	20,40±0,06 <sup>f</sup>	4,56±0,02 <sup>c</sup>
	İZMR	8,16±0,05 <sup>g</sup>	32,46±0,11 <sup>h</sup>	56,95±0,29 <sup>i</sup>	0,07±0,00 <sup>c</sup>	36,39±0,16 <sup>j</sup>	6,93±0,07 <sup>h</sup>
	İZMT	21,99±0,04 <sup>j</sup>	53,18±0,45 <sup>j</sup>	24,19±0,07 <sup>e</sup>	0,10±0,00 <sup>f</sup>	15,73±0,02 <sup>e</sup>	6,28±0,02 <sup>g</sup>
YAZ	ANT	2,63±0,01 <sup>b</sup>	7,52±0,05 <sup>b</sup>	26,58±0,20 <sup>f</sup>	0,09±0,00 <sup>d</sup>	12,50±0,03 <sup>d</sup>	2,36±0,01 <sup>a</sup>
	İZMR	6,05±0,03 <sup>d</sup>	24,51±0,04 <sup>f</sup>	32,38±0,12 <sup>g</sup>	0,07±0,00 <sup>bc</sup>	26,64±0,06 <sup>h</sup>	4,75±0,03 <sup>d</sup>
	İZMT	20,17±0,04 <sup>i</sup>	71,52±0,12 <sup>k</sup>	48,69±0,08 <sup>i</sup>	0,10±0,00 <sup>e</sup>	35,86±0,11 <sup>i</sup>	10,58±0,06 <sup>l</sup>
SONB	ANT	1,23±0,01 <sup>a</sup>	5,05±0,03 <sup>a</sup>	8,02±0,09 <sup>a</sup>	0,20±0,00 <sup>j</sup>	9,38±0,05 <sup>ab</sup>	4,96±0,05 <sup>e</sup>
	İZMR	7,11±0,01 <sup>f</sup>	20,70±0,17 <sup>e</sup>	33,58±0,03 <sup>h</sup>	0,07±0,00 <sup>ab</sup>	23,29±0,05 <sup>g</sup>	3,96±0,03 <sup>b</sup>
	İZMT	14,61±0,03 <sup>b</sup>	49,82±0,32 <sup>i</sup>	85,29±0,34 <sup>k</sup>	0,06±0,00 <sup>a</sup>	54,59±0,05 <sup>k</sup>	8,58±0,04 <sup>j</sup>
KİŞ	ANT	1,20±0,01 <sup>a</sup>	5,41±0,08 <sup>a</sup>	9,31±0,06 <sup>b</sup>	0,18±0,00 <sup>i</sup>	9,33±0,04 <sup>a</sup>	5,47±0,00 <sup>f</sup>
	İZMR	6,41±0,03 <sup>e</sup>	25,46±0,17 <sup>g</sup>	15,12±0,13 <sup>d</sup>	0,12±0,00 <sup>g</sup>	10,60±0,07 <sup>c</sup>	8,22±0,03 <sup>i</sup>
	İZMT	6,46±0,01 <sup>e</sup>	16,92±0,16 <sup>d</sup>	11,15±0,02 <sup>c</sup>	0,14±0,00 <sup>h</sup>	9,69±0,04 <sup>b</sup>	8,88±0,02 <sup>k</sup>

\* Aynı harfle gösterilen gruplar arasında istatistiksel olarak fark yoktur. (P>0,05)

Tüm örneklemelerin ortalamaları alınarak sedimentteki metal konsantrasyonları hesaplanmıştır. Buna göre Antalya Körfezi'ndeki metallerin ilkbahar konsantrasyonlarının sıralanışı şu şekildedir: Cr > Ni > Zn > Pb > Cu > Cd. Yaz konsantrasyonlarının sıralanışı ise şöyledir: Cr > Ni > Zn > Cu > Pb > Cd. Sonbahar konsantrasyonlarının sıralanışı: Ni > Cr > Zn > Pb > Cu > Cd. Kış konsantrasyonlarının sıralanışı ise şu şekildedir: Ni > Cr > Pb > Zn > Cu > Cd. İzmir Körfezi'ndeki metallerin ilkbahar konsantrasyonlarının sıralanışı: Cr > Ni > Zn > Cu > Pb > Cd. Yaz konsantrasyonlarının sıralanışı: Cr > Ni > Zn > Cu > Pb > Cd. Sonbahar konsantrasyonlarının sıralanışı: Cr > Ni > Zn > Cu > Pb > Cd. Kış konsantrasyonlarının sıralanışı: Zn > Cr > Ni > Pb >

Cu > Cd . İzmit Körfezi'ndeki metallerin ilkbahar konsantrasyonlarının sıralanışı: Zn > Cr > Cu > Ni > Pb > Cd . Yaz konsantrasyonlarının sıralanışı: Zn > Cr > Ni > Cu > Pb > Cd. Sonbahar konsantrasyonlarının sıralanışı: Kış konsantrasyonlarının sıralanışı: Zn > Cr > Ni > Pb > Cu > Cd şeklindedir.

### 5.1. Bakır (Cu)



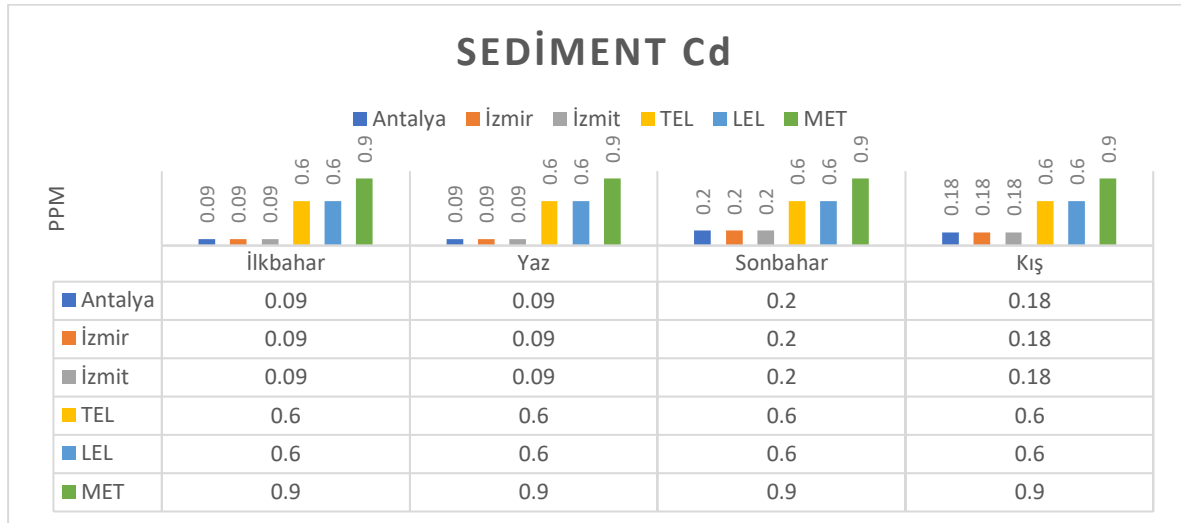
**Şekil 4.** Antalya, İzmir ve İzmit körfezi örnekleme noktalarındaki Cu konsantrasyonunun (ppm) sediment kalite kılavuzu ile karşılaştırılması

Antalya ve İzmir körfezlerinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı Bakır (Cu) konsantrasyonu, TEL (35,7 ppm), LEL (16 ppm) ve MET (28 ppm) seviyeleri için sınır değerlerin altında ölçülmüştür.

İzmit körfezinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı bakır (Cu) konsantrasyonu; TEL (35,7 ppm) ve MET (28 ppm) seviyeleri için sınır değerinin altında, LEL (16 ppm) seviyesi için sonbahar ve kış mevsimlerinde sınır değerinin altında, ilkbahar ve yaz mevsimlerinde sınır değerinin üzerinde ölçülmüştür. Bakır (Cu) konsantrasyonu mevsimel olarak Antalya istasyonunda karşılaştırıldığında ilkbahar >yaz >sonbahar >kış, İzmir istasyonunda karşılaştırıldığında ilkbahar >yaz >sonbahar >kış, İzmit istasyonunda karşılaştırıldığında ilkbahar >yaz >sonbahar >kış şeklindedir. En yüksek Bakır (Cu) konsantrasyonu 21,99 ppm ile ilkbahar mevsiminde İzmit istasyonunda en düşük Bakır (Cu) konsantrasyonu ise 1,2 ppm ile kış mevsiminde Antalya da ölçülmüştür.



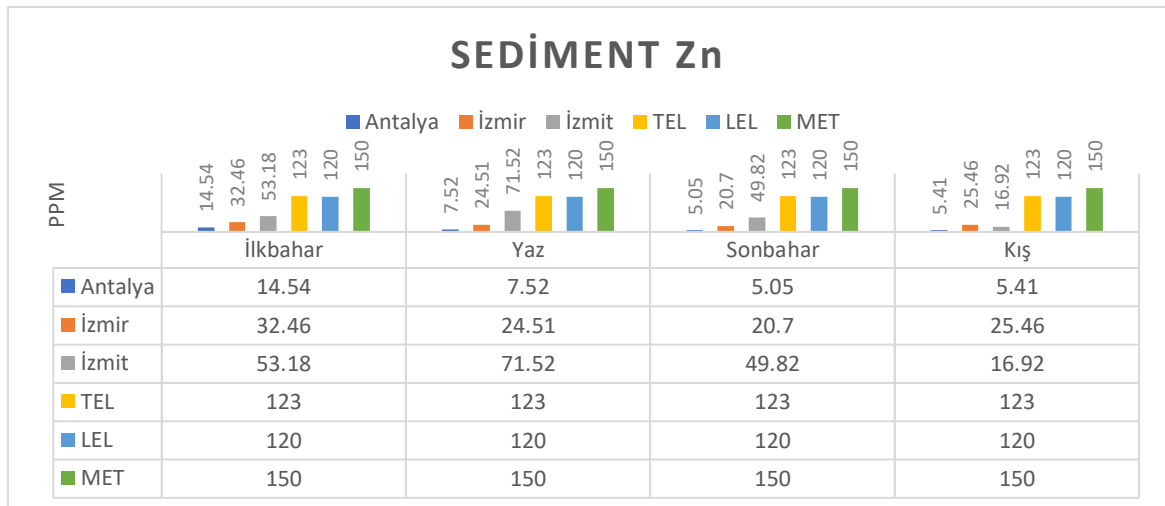
## 5.2. Kadmiyum (Cd)



**Şekil 5.** Antalya, İzmir ve İzmit körfezi örnekleme noktalarındaki Cd konsantrasyonunun (ppm) sediment kalite kılavuzu ile karşılaştırılması

Antalya, İzmir ve İzmit körfezlerinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı kadmiyum (Cd) konsantrasyonu, TEL (0.6 ppm), LEL (0,6 ppm) ve MET (0.9 ppm) seviyeleri için sınır değerlerin altında ölçülmüştür. 3 körfezdende toplanan örneklerdeki kadmiyum (Cd) konsantrasyonu ilkbahar, yaz mevsimlerinde en düşük sonbahar mevsiminde en yüksek olarak ölçülmüştür.

## 5.3.Çinko(Zn)

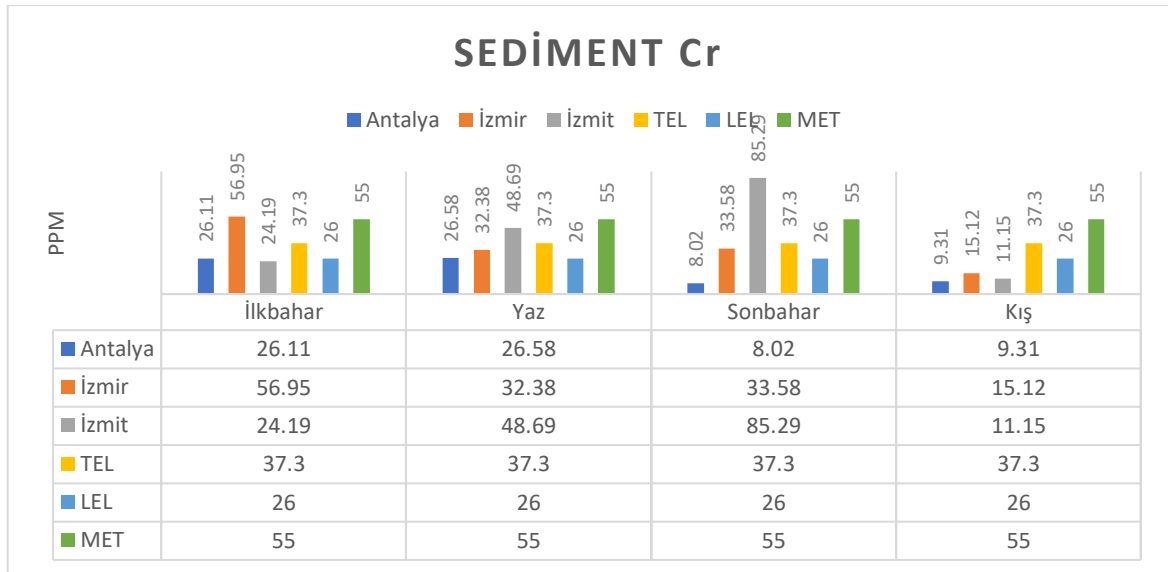


**Şekil 6.** Antalya, İzmir ve İzmit körfezi örnekleme noktalarındaki Zn konsantrasyonunun (ppm) sediment kalite kılavuzu ile karşılaştırılması

Antalya, İzmir ve İzmit körfezlerinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı çinko (Zn) konsantrasyonu, TEL (123ppm), LEL (120ppm) ve MET (150 ppm) seviyeleri için

sınır değerlerin altında ölçülmüştür. (Zn) konsantrasyonu Antalya istasyonundaki mevsimsel konsantrasyonları kıyaslandığında ilkbahar >yaz > kış > sonbahar, İzmir istasyonundaki mevsimsel konsantrasyonları kıyaslandığında ilkbahar >yaz > kış > sonbahar, İzmit istasyonundaki mevsimsel konsantrasyonları kıyaslandığında yaz > ilkbahar > kış > sonbahar şeklindedir. İstasyonlarda en yüksek çinko (Zn) değeri İzmit istasyonunda yaz mevsiminde 71,52 ppm, en düşük çinko (Zn) değeri Antalya istasyonunda sonbaharda 5,05 ppm olarak ölçülmüştür.

#### 5.4. Krom (Cr)



**Şekil 7.** Antalya, İzmir ve İzmit körfezi örnekleme noktalarındaki Cr konsantrasyonunun (ppm) sediment kalite kılavuzu ile karşılaştırılması

Antalya körfezinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı krom (Cr) konsantrasyonu, TEL (37,3 ppm) ve MET (55 ppm) seviyeleri için sınır değerlerin altında, LEL (26ppm) seviyesi için ilkbahar ve yaz mevsimlerinde sınır değerinin üzerinde, sonbahar ve yaz mevsimlerinde sınır değerinin altında ölçülmüştür. Antalya körfezindeki sediment örneklerinin krom (Cr) konsantrasyonları mevsimsel olarak kıyaslandığında yaz > ilkbahar > kış > sonbahar şeklindedir.

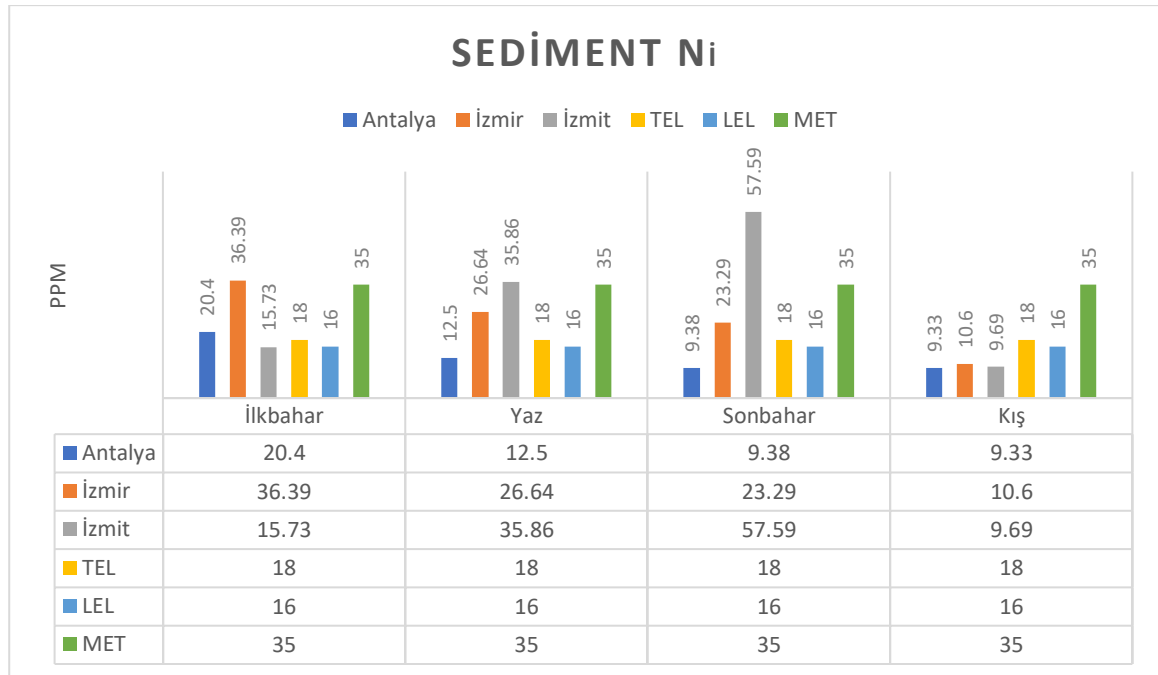
İzmir körfezinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı krom (Cr) konsantrasyonu; TEL (37,3 ppm)ve MET (55 ppm)seviyeleri için ilkbaharda sınır değerinin üzerinde, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde sınır değerinin altında, LEL (26 ppm) seviyesi için ilkbahar, yaz, sonbahar mevsimlerinde sınır değerinin üzerinde, kış mevsiminde sınır değerinin altında ölçülmüştür. İzmir körfezindeki sediment örneklerinin krom (Cr) konsantrasyonları mevsimsel olarak kıyaslandığında ilkbahar > sonbahar > yaz > kış şeklindedir.

İzmit körfezinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı krom (Cr) konsantrasyonu; TEL (37,3 ppm)ve LEL (26 ppm) seviyeleri için ilkbahar ve kış mevsimlerinde sınır

değerin altında, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sınır değer üzerinde, MET (55 ppm) seviyesi için ilkbahar, yaz ve kış mevsimlerinde sınır değer altında, sonbahar mevsiminde sınır değer üzerinde ölçülmüştür. İzmit körfezindeki sediment örneklerinin krom (Cr) konsantrasyonları mevsimsel olarak kıyaslandığında sonbahar > yaz > ilkbahar > kış şeklindedir.

İstasyonlarda en yüksek krom (Cr) değeri İzmit istasyonunda sonbahar mevsiminde 85,29 ppm, en düşük krom (Cr) değeri ise Antalya istasyonunda sonbaharda 8,02 ppm olarak ölçülmüştür.

### 5.5.Nikel (Ni)



**Şekil 8.** Antalya, İzmir ve İzmit körfezi örnekleme noktalarındaki Ni konsantrasyonunun (ppm) sediment kalite kılavuzu ile karşılaştırılması

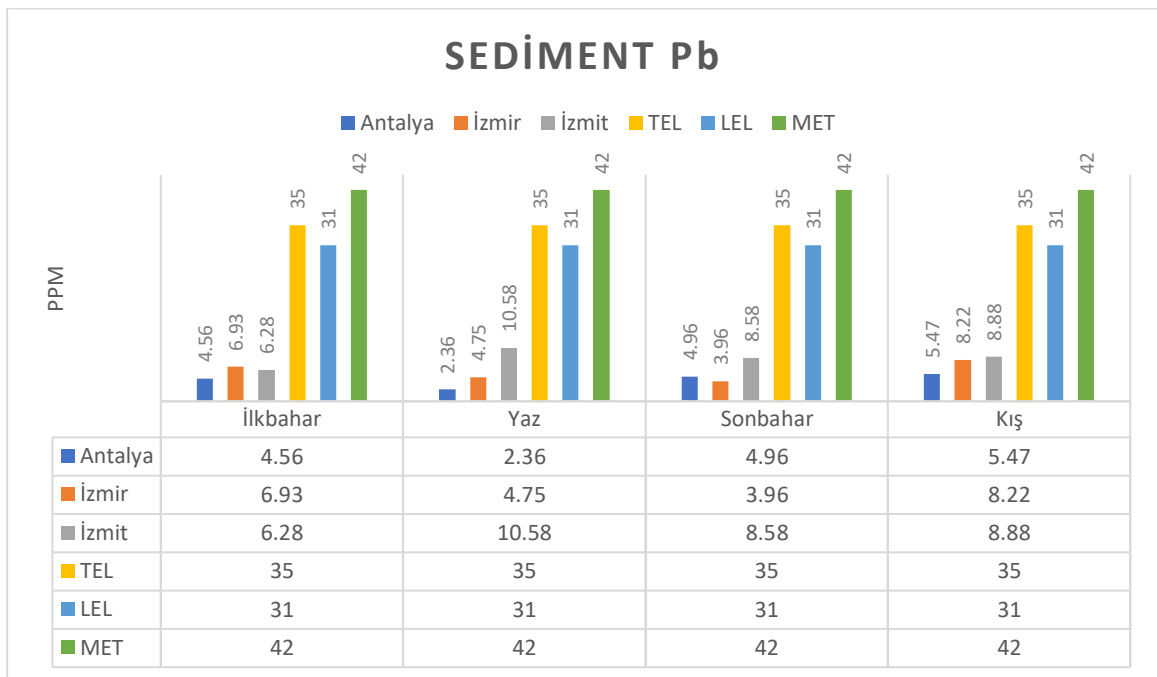
Antalya körfezinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı nikel (Ni) konsantrasyonu; TEL (18 ppm) ve LEL (16 ppm) seviyeleri için ilkbaharda sınır değer üzerinde, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde sınır değer altında, MET (35 ppm) seviyesi için tüm mevsimlerde sınır değer altında ölçülmüştür. Antalya körfezindeki sediment örneklerinin nikel (Ni) konsantrasyonları mevsimsel olarak kıyaslandığında ilkbahar > yaz > sonbahar > kış şeklindedir.

İzmir körfezinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı nikel (Ni) konsantrasyonu; TEL (18ppm) ve LEL (16ppm) seviyeleri için ilkbahar, yaz, sonbahar mevsimlerinde sınır değer üzerinde, kış mevsiminde sınır değer altında, MET (35 ppm) seviyesi için ilkbaharda sınır değer üzerinde, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde sınır değer altında ölçülmüştür. İzmit körfezindeki sediment örneklerinin nikel (Ni) konsantrasyonları mevsimsel olarak kıyaslandığında ilkbahar > yaz > sonbahar > kış şeklindedir.

İzmit körfezinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı nikel (Ni) konsantrasyonu; TEL (18 ppm), LEL (16 ppm) ve MET (35 ppm) seviyeleri için ilkbahar ve kış mevsimlerinde sınır değerinin altında, yaz ve sonbahar mevsimlerinde sınır değerinin üzerinde ölçülmüştür. İzmit körfezindeki sediment örneklerinin nikel (Ni) konsantrasyonları mevsimsel olarak kıyaslandığında sonbahar > yaz > ilkbahar > kış şeklindedir.

İstasyonlarda en yüksek nikel (Ni) değeri İzmit istasyonunda sonbahar mevsiminde 57,59 ppm en düşük nikel (Ni) değeri ise Antalya istasyonunda kış mevsiminde 9,33 ppm olarak ölçülmüştür.

### 5.6. Kurşun (Pb)



**Şekil 9.** Antalya, İzmir ve İzmit körfezi örnekleme noktalarındaki Pb konsantrasyonunun (ppm) sediment kalite kılavuzu ile karşılaştırılması

Antalya, İzmir ve İzmit körfezlerinden alınan sediment örneklerinde mevsimsel farklılıklara bağlı kurşun (Pb) konsantrasyonu, TEL (35ppm), LEL (31ppm) ve MET (42 ppm) seviyeleri için sınır değerlerinin altında ölçülmüştür.

Antalya körfezindeki sediment örneklerinin kurşun (Pb) konsantrasyonları mevsimsel olarak kıyaslandığında kış > sonbahar > ilkbahar > yaz şeklindedir.

İzmir körfezindeki sediment örneklerinin kurşun (Pb) konsantrasyonları mevsimsel olarak kıyaslandığında kış > ilkbahar > yaz > sonbahar şeklindedir.

İzmit körfezindeki sediment örneklerinin kurşun (Pb) konsantrasyonları mevsimsel olarak kıyaslandığında yaz > kış > sonbahar > ilkbahar şeklindedir.

## 6. Tartışma ve Sonuçlar

Çalışmamızda Antalya, İzmir ve İzmit körfezlerindeki sedimentlerde yapılan analizler sonucunda, kurşun (Pb), çinko (Zn) ve kadmiyum (Cd) konsantrasyonlarının tüm mevsimlerde belirlenen sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür. Pb, Cd, Zn, Co, Hg ve diğer birçok toksik metal, dip sedimentlerinde birikebilir ve çevreye salınma koşulları oluşturulduğunda, çeşitli dışsal reaksiyonlar aracılığıyla su kütesine yayılarak 'tehlikeli' bir durum oluşturabilirler (Lu, I.C.S..Chen K).

Analizler sonucunda ölçülen en yüksek nikel (Ni) konsantrasyonu, Antalya ve İzmir körfezinde ilkbahar mevsiminde, İzmit körfezinde ise sonbahar mevsiminde ölçülmüştür. Bu körfezler içerisinde nikel konsantrasyonu en yüksek körfez İzmit körfezidir. Nikel, doğal kaynaklardan ve insan faaliyetlerinden kaynaklanan yayılımıyla biyosferde, toprak, su, hava ve sedimentlerde bulunmaktadır (Demir vd, 2005). Sucul ve karasal ekosistemlerdeki nikel yükleri, insan etkinliklerinden ve madencilik bölgelerinden, maden eritme, işleme süreçleri, fosil yakıt yanması, atık yakma ve depolama sahalarından kaynaklanmaktadır (Eisler, 2000).

Analizler sonucunda ölçülen en yüksek krom (Cr) konsantrasyonu, Antalya Körfezi'nde ilkbahar ve yaz mevsimlerinde, İzmir Körfezi'nde ilkbahar mevsiminde, İzmit Körfezi'nde ise sonbahar mevsiminde belirlenmiştir. Bu körfezler arasında krom konsantrasyonu en yüksek olan İzmit Körfezi'dir. Krom, atıkların önemli bir bileşeni olarak çevreye salınmaktadır ve evsel ile endüstriyel atık su arıtma tesislerinde yüksek miktarlarda bulunmaktadır. Parçacıklı madde, kromun su sistemlerine transferinin ana kaynağıdır. Kromla kirlenmiş sedimentlerde, kromun sediment gözenek suyundan geri salınmasıyla, sedimentler önemli toksik kaynaklar olarak etki gösterir (Eisler, 2000).

Analizler sonucunda ölçülen en yüksek bakır (Cu) konsantrasyonu, Antalya, İzmir ve İzmit körfezlerinde ilkbahar mevsiminde belirlenmiştir. Bu körfezler arasında bakır konsantrasyonu en yüksek olan İzmit Körfezi'dir. Bakır (Cu), tatlısu ve sedimentteki sucul yaşam için gerekli olan bir mikro besleyici elementtir. Ancak yüksek seviyelerde toksik etkiler gösterebilir. Doğal yollarla, örneğin volkanik patlamalar veya bitkilerin çürümesi gibi, ve insan etkinliklerinin sonucu olarak, belediye ve endüstriyel atık suları gibi, çevreye yayılır. Bakır suya az miktarda çözünür, ancak askıda katı maddelere kolayca bağlanır ve sonuç olarak sedimentte birikebilir. Sedimentte biriken Cu miktarı, su kirliliğinin düzeyini yansıtır (Eqani, 2016). Suda kabul edilebilir düzeydeki bakır fazlalığı özellikle bakteri, alg, mantar ve balıklar için toksik etkilere neden olabilir. İnsanlarda, bakır fazlalığı karaciğerde ve midede rahatsızlıklara yol açabilir (Özden, 2008).

Mevsim ve istasyon farkı gözetmeksizin sedimentteki en yüksek ortalama ağır metal konsantrasyonları; Cd: 0,20, Cu: 21,99, Pb: 10,58, Zn: 71,52, Cr: 85,2 ve Ni: 54,59 ppm olarak

bulunmuştur. Sedimentte yapılan çalışmalarda; Meksika Körfezi'nde, Cd; 0,02 Cu; 0,2-1,7 Fe; <1 Mn; 0,5 Ni; 0,25-1,16 Pb; 0,02- 0,05 Zn; 5 µg/l (Trefry ve ark., 1996), Atatürk baraj gölünde, Cu; 0,025-0,22 Fe; 0,062 Mn; 0,0039-0,0041 N; 0,011-0,0154 Zn; 0,064-0,197 ppm (Karadede ve Ünlü, 2000), Kuzey Ege Denizi farklı derinliklerde, Cd; 0,019-0,420 Cu; 0,74-5,93 Mn; 0,07-44,98 Ni; 2,26- 8,43 nM/l, Güney Ege Denizi farklı derinliklerde, Cd; 0,016-0,176 Cu; 0,48-5,19 Mn; 0,18- 9,31 Ni; 0,08-9,83 nM/l (Voutsinou ve ark., 2000), Karadeniz açıklarında, Cd; 0,078 Cu; 6,7 Ni; 9,4 nM/L (Haraldson ve Westerlund, 1991), Karadeniz'in güneyinde, Cu; 49 Fe; 3280 Mn ; 570 Ni; 77 Pb; 34 Zn; 87 (Yücesoy 1991), Kuzey Marmara resif bölgesinde, Cu; 21 Fe; 2970 Mn; 404 Pb; 24 Zn; 71 (Çağatay 1996), Erdek Körfezi'nde, Cu; 28 Fe; 3000 Mn; 384 Ni; 52 Pb; 40 Zn; 125 (Balkıs 1998), Doğu Çin Denizi Changjiang Körfezi'nde, Co; 10-20 Cr; 50-100 Cu; 10-50 Fe; 3000-45000 Mn; 500-1000 Ni; 20-50 Pb; 20-30 Zn; 60-140 Al; 50000-100000 (Zhang and Ying 1996), Ege Denizi ve sahil bölgesi ve Mytilen Limanı'nda, Cd; 0,03-0,495 Cr; 40-154 Cu; 5,34-86,2 Fe; 7700-28100 Mn; 171-36 Pb; 20,7-93 (Aloupi and Angelidis 2001), Kuzey Ege Denizi Saros Körfezi'nde, Cu; 19 Fe; 27900 Mn; 451 Ni; 60 Pb; 22 Zn; 73 (Sarı and Çağtay 2001) mg/kg kuru ağırlık olarak bildirilmiştir. Sediment için mevcut çalışmada elde edilen ağır metal konsantrasyonları, diğer bölgeler için bildirilen değerlerle karşılaştırıldığında; bölgeler arasındaki kirlilik durumlarındaki benzerlikler ve farklılıklar belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Sediment ağır metal konsantrasyonlarının kısa vadeli olarak çok fazla değişkenlik göstermediği, ancak uzun zaman dilimlerinde önemli farklılıkların ortaya çıkabileceği belirtilmektedir (Bradford ve Luoma, 1980; Maedor ve ark., 1998; Esslemont, 2000; Rubio ve ark., 2000; Tanner ve Leong, 2000). Güney Avustralya'da endüstriyel ve metropolitan merkezlere yakın bölgelerde sestonda yapılan çalışmada, Cd, Pb, Cu ve Zn gibi ağır metal konsantrasyonlarında önemli mevsimsel farklılıkların olduğu ve genellikle kış değerlerinin ilkbahar değerlerinden daha yüksek çıktığı bildirilmektedir (Edwards ve ark., 2001). Aynı şekilde, sedimentteki Cd, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn konsantrasyonlarının mevsimsel olarak önemli farklılıklar gösterdiği bildirilmektedir (Wright ve Mason, 1999).

Yoğun yağışların etkisiyle kirlenmiş karasal ortamlarla, dere ve nehir yatağı sedimentlerindeki ağır metallerin kıyısız bölgelere sürüklenerek deniz suyu ve sedimentlere karıştığı belirtilmektedir. Bu durumda, deniz suyu ve sediment konsantrasyonları arasındaki ilişkileri etkileyen faktörler arasında, ağır metallerin dağılımını etkileyen temel süreçlerden olan absorpsiyon ve desorpsiyon gibi etmenlerin bulunduğu bildirilmektedir (Hung ve ark., 2001). Araştırmamızda körfezlerdeki ağır metal seviyeleri ilkbahar ve sonbaharda yağışların etkisi ile yaz ve kışa göre konsantrasyonları daha yüksektir.

Araştırma yaptığımız körfezler içerisinde ağır metal konsantrasyonu en yüksek körfez İzmit körfezi olarak tespit edilmiştir. İzmit Körfezinin bu durumu, Türkiye'nin oldukça sanayileşmiş ve

nüfuslu bir bölgesinde yer almasıdır ve bu da onu kirliliğe ve çevre felaketlerine karşı savunmasız hale getirmektedir. İleriki yıllarda sediment örnekleri için örnekleme noktaları çoğaltılarak ağır metal konsantrasyonlarının değişiminin incelenmesi ve sonuçların karşılaştırılması faydalı olacaktır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FEN-BAP-C-250221-06 nolu proje ile desteklenmiştir. Giresun Üniversitesi BAP Koordinatörlüğü'ne desteklerinden dolayı teşekkür ederiz.

### **Yazarların Katkıları**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Bu çalışma araştırma ve yayın etiğine uygundur. Bu çalışma "Antalya-İzmir ve İzmit Körfezlerindeki Bazı Sucul Organizmalar ve Sedimette Ağır Metal Birikimi" başlıklı doktora tezine dayanmaktadır. (Doktora tezi, Giresun Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun, Türkiye).

### **Kaynaklar**

- Agemian, H. And Chau, A. S. Y. 1975. An atomic absorption method for the determination of 20 elements in lake sediments after acid digestion. *Analytica Chemica Acta*, 80: 61-66
- Akbulut, A., Akbulut, N.E. (2010).The study of heavy metal pollution and accumulation in water, sediment and fish tissue in Kızılırmak RiverBasin in Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment* 167: 521-526.
- Aksu, N. Balkıs, Ö. S. Taşkın And M. S. Erşan 2011. Toxic Metal (Pb, Cd, As And Hg) And Organochlorine Residue Levels In Hake (*Merluccius Merluccius*) From The Marmara Sea, Turkey. *Environmental Monitoring And Assesment*, 182: 509-521. Doi 10.1007/S10661-011-1893-1.
- Aloupi, M. and Angelides, M. O. 2001. Geochemistry of natural and anthropogenic metals in the coastal sediments of the island of Lesbos, Aegean Sea. *Environmental Pollution*, 113:211-219.
- Aydın-Önen, S.,Küçüksezgin, F., Kocak, F., Açık, S. (2015).Assessment of heavy metal contamination in hediste diversicolor (O.F. Müller, 1776), Mugil cephalus (Linnaeus, 1758), and surface sediments of Bafa Lake (Eastern Aegean). *Environ Sci Pollut Res* 22: 8702-8718.

- Ayşegül Mülâyim, Nuray Balkıs, Hüsametın Balkıs, Abdullah Aksu (2011). Distributions of total metals in the surface sediments of the Bandırma and Erdek Gulfs, Marmara Sea, Turkey. *Toxicological and Environmental Chemistry*, 94: 1, 56-69. DOI:10.1080/02772248.2011.633914
- Balkıs, N. 1998. Geochemistry of sediments of the Erdek Bay. PhD Thesis, Institute of Marine Sciences and Management, University of İstanbul, s 209, İstanbul.
- Balkıs, Erdiñ Şenol and Abdullah Aksu 2007. Trace Metal Distributions in water column and surface sediments of İzmit Bay (Turkey) after Marmara (İzmit) Earthquake. *Fresenius Environmental Bulletin*, Vol. 16, No: 8, pp. 910-916
- Banerjee, S., Kumar, A., Maiti, S. K., & Chowdhury, A. (2016). Seasonal variation in heavy metal contaminations in water and sediments of Jamshedpur stretch of Subarnarekha river, India. *Environmental earth sciences*, 75, 1-12.
- Barkay, T., Gillman, M., & Turner, R. R., 1997. Effects of dissolved organic carbon and salinity on bioavailability of mercury. *Applied and Environmental Microbiology*, 63: 4267–4271.
- Basmacı, A., Bostan, Z., Sönmez, V. Z., & Sivri, N. (2021). Türkiye'nin Sucul Ekosistemlerinde Ağır Metal Üzerine Yapılan Araştırmaların Tarihsel İncelemesi ve Bibliyometrik Analizi (2000-2020). *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6 (4), 567-577.
- Başığit, B., Tekin-Özan S. (2013). Concentration of some heavy metals in water, sediment, and tissues of pike perch (*Sander lucioperca*) from Karataş Lake related to physicochemical parameters, fish size, and seasons. *Polish Journal of Environmental Studies*, 22 (3): 633-644.
- Bilos, C., Colombo, J. C., & Presa, M. J. (1998). Trace metals in suspended particles, sediments and Asiatic clams (*Corbicula fluminea*) of the Río de la Plata Estuary, Argentina. *Environmental Pollution*, 99(1), 1-11.
- Bradford, W. L. and Luoma, S. N. 1980. Some perspectives on heavy metal concentrations in shellfish and sediment in San Francisco Bay, California. *Contaminants and Sediments*, 2:501-531.
- Bubb, J.M., Lester, J.N., 1994. Anthropogenic heavy metal inputs to Lowland River systems, A Case Study. The River Stour, U.K. *Water, Air and Soil Pollution*, 78: 279-296.
- Burdige, D.J., 1993. The biogeochemistry of manganese and iron reduction in marine sediments. *Earth-Sci Rev.*, 35: 249-284.
- Burton, G.A. 2002. Sediment Quality Criteria İn Use Around The World. *Limnology*, 3:65–76.
- Canário, J., Prego, R., Vale, C., Branco, V., 2007. Distribution of Mercury and Methylmercury in Sediments of Vigo Ria, NW Iberian Peninsula. *Water Air Soil Pollut.*, 182: 21–29. Demir, T.A., Isıklı, B., Ürer, S.M., Berber, A., Akar, T., Canbek, M. and Kalyoncu, C. 2005. Nickel Expose And Its Effects. *Biometals*, 18, 7-13.
- Duman, F. (2005). *Sapanca ve Abant gölü Su, Sediment ve Sucul Bitki Örneklerinde Ağır Metal Konsantrasyonlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi*. Doktora Tezi. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara
- Duffus, J. (2002). "Heavy metals" a meaningless term? (IUPAC Technical Report). *Pure and Applied Chemistry*, 74(5), 793-807.
- Edwards, J. W., Edyvane, K. S., Boxalls, V. A., Hamann, M. and Soole, K. L. 2001. Metal levels in seston and marine fish flesh near industrial and metropolitan centres in South Australia. *Marine pollution Bulletin*, 42(5) :389-396.
- Eisler, R. (2000). Kimyasal risk değerlendirmesi el kitabı: insanlar, bitkiler ve hayvanlara yönelik sağlık tehlikeleri, üç ciltlik set.
- Erdem, Sayın., Canan, Eronat. (2017). The dynamics of İzmir Bay under the effects of wind and thermohaline forces. *Ocean Science*, doi: 10.5194/OS-14-285-2018
- Eqani, S., Kanwal, A., Ali, S. M., So hail, M., Bhowmik, A.K, Ambreen, A., Ali, N., Fasola, M. And Shen, H. 2016. Spatial Distribution Of Dust-Bound Trace Metals From Pakistan And Its Implications For Human Exposure. *Environmental Pollution*, 213: 213–222.
- Erdoğan, N. (2022). Coastal Development–Architectural and Urban Design Proposals in the İzmit Bay, Turkey. In *Handbook of Waterfront Cities and Urbanism* (pp. 206-221).
- Erol, S., Cukrov, N., Franc'is'kovic'-Bilinski, S., Kurt, M.A., Mihri, H. (2016). Contamination assessment of ecotoxic metals in recent sediments from the Ergene River, Turkey. *Environmental Earth Science* 75: 1051-1062.
- Gale, R.J.B., Gale, S.J., Winchester, H.P.M., 2006. Inorganic pollution of the sediments of the River Torrens, South Australia. *Environ Geol.*, 50: 62–75.
- Gambrell, R.P., Reddy, C.N. and Khalid, R.A. 1983. Characterization Of Trace And Toxic Materials İn Sediments Of A Lake Being Restored. *Journal–Water Pollution Control Federation*, 55:1201–1210.



- Great Lakes Water Quality Board, 1982. Guidelines and Register For The Evaluation of Great Lakes Dredging Projects. International Joint Commission, Windsor, Ontario, Canada.
- Hung, T. C., Meng, P. J., Han, B. C., Chuang, A. and Huang, C.C. 2001. Trace metals in different species of mollusca, water and sediments from Taiwan coastal area. *Chemosphere*, 44:833-841
- Güven., Mehmet, Özbaş. (2022). Antalya Körfezi'nde Dağılım Gösteren Mürekkap Balığı (*Sepia officinalis*, Linnaeus, 1758) Türü Popülasyonunun Üreme Özellikleri. *Turkish Journal of Agriculture: Food Science and Technology*, doi: 10.24925/turjaf.v10isp1.2640-2645.5582
- Haraldson, C. and Westerlund, S. 1991. Total and suspended cadmium, cobalt, copper, iron, lead, manganese, nickel and zinc in the water column of the Black Sea. *Black Sea Oceanography*, 351:161-172.
- Howari, F.M., Banat, K.M., 2001. Assessment Of Fe, Zn, Cd, Hg, And Pb In The Jordan and Yarmouk River Sediments In Relation To Their Physicochemical Properties and Sequential Extraction Characterization. *Water, Air, and Soil Pollution*, 132: 43–59.
- Karadavut, I. S., Saydam, A. C., Kalipci, E., Karadavut, S., Ozdemir, C. & Durduran, S. (2012a). Pollution in Melendiz water basin groundwater. *Pol. J. Environ. Stud.*, 21(3), 659.
- Karadede, H. and Ünlü, E., 2000. Concentrations of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euphrates), Turkey. *Chemosphere*, 41:1371-1376.
- Karayakar, F., Erdem, C. & Cıçık, B. (2007). Seasonal variation in copper, zinc, chromium, lead and cadmium levels in hepatopancreas, gill and muscle tissues of the mussel *Brachidontes pharaonis* Fischer, collected along the Mersin coast, Turkey. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 79(3), 350-355.
- Katip, A. (2010). *Uluabat Gölü su kalitesinin izlenmesi* (Doctoral dissertation, Bursa Uludağ University (Turkey))
- Keskin, F. (2012). *Köyceğiz Gölü sedimentinde ağır metal fraksiyonlarının incelenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kükrer, S., Erginal, A. E., Şeker, S., Karabıyıkoglu, M. (2015). Distribution and environmental risk evaluation of heavy metal in core sediments from Lake Çıldır (NE Turkey). *Environmental Monitoring and Assessment* 187: 453-467
- Levent, Yurga. (2022). Investigation of harmful algae in İzmir Bay for the 30 years. *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, doi: 10.12714/egejfas.39.1.09
- Lorin, H. D. And Rantala, R. T. T. 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews*, 32:235-383.
- Masindi, V. And Muedi, K.L. (2018). Environmental contamination by heavy metals. *Heavy metals*, 10, 115-132.
- Moody, J.R. and Lindstrom, R.N., 1977. Selection and cleaning of plastic containers for storage of trace element samples. *Analytical Chemistry*, 49:2264-2267.
- NOAA, U. (1999). Screening Quick Reference Tables (SQUIRTs). *Coastal protection and restoration division. National Marine Fisheries Service (NMFS). Our Living Oceans. Report on the status of US living marine resources.*
- Özan, C. (2016). *Isparta Deresi'nin Su ve Sedimentindeki Ağır Metal Birikiminin İncelenmesi* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta).
- Özdamar, K., 1999. SPSS İle Biyoistatistik. Kaan Kitapevi Yayınları, s 454, Eskişehir.
- Özden, Y. (2008). *Enne ve Porsuk barajı sedimentine bağlı ağır metallerin *Cyprinus carpio* nun değişik dokularına biyoakümüülasyonunun araştırılması* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Parlak, H. (1985) *Mugil spp. Ve Chasmichthys glusius Üzerinde Kadmiyum, Demir ve Kurşunun Ayır Ayır ve Birlikte Oluşturdukları Toksik Etkilerin Araştırılması*. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü Hidrobiyoloji Anabilim Dalı, İzmir.
- Peng, K., Luo, C., Lou, L., Li, X., Shen, Z., 2008. Bioaccumulation of heavy metals by the aquatic plants *Potamogeton pectinatus* L. and *Potamogeton malaianus* Miq. And their potential use for contamination indicators and in wastewater treatment. *Science of the Total Environment*, 392: 22-29.
- Pham N.T.T., Pulkownik, A., Buckney, R.T., 2007. Assessment of heavy metals in sediments and aquatic organisms in West Lake (Ho Tay), Hanoi, Vietnam. *Lake & Reservoirs: Research and Management*, 12: 285-294.
- Salomans, W., Rooij N.M., Kerdijk, H. ve Bril. J. 1987. Sediments as a source for contaminants. *Hydrobiologia*, 149: 13-30.
- Sarı, E. ve Çağatay, M.N., 2001. Distributions of heavy metals in the surface sediments of the Gulf of Saros, NE Aegean sea. *Environment International*, 26:169-173.

- Sastre, J., Sahuquillo, A., Vidal, M. And Rauret, G., 2002. Determination of Cd, Cu, Pb and Zn in environmental samples: micro wave-assisted total digestion versus aquaregia and nitric acid extraction. *Analytica Chimica Acta*, 462:59-72.
- Şavran, G., & Küçük, F. (2022). Sucul Canlılarda Ağır Metal Birikimi ve Etkileri. *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 8(1), 65-78.
- Şenocak, M., 1998. Biyoistatistik. İstanbul Üniv., Cerrahpaşa Tıp Fak., Yayınları, Fak., No: 214, s 314, İstanbul.
- Tanner, P.A. and Leong, L.S., 2000. Metals in a marine sediment core from near Ma Wan, Hong Kong. *Water, Air and Soil Pollution*, 121:309-325.
- Taskin, Kavzoglu., Merve, Goral. (2022). Google Earth Engine for Monitoring Marine Mucilage: Izmit Bay in Spring 2021. *Hydrology*, doi: 10.3390/hydrology9080135
- Taylan, Z. S., & Özkoç, H. B. (2007). Potansiyel ağır metal kirliliğinin belirlenmesinde akuatik organizmaların bio kullanılabilirliği. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(2), 17-33.
- Thomas, R.L. 1987. A Protocol For The Selection Of Process Oriented Remedial Options To Control In Situ Sediment Contaminants. *Hydrobiologia*, 149:247-258.
- Tekin-Özan. (2015). Levels of some heavy metals in water and sediment compared with season and some physico-chemical parameters from Antalya Bay.
- Töz., Muge, Buber., Burak, Koseoglu., Cenk, Sakar. (2021). An estimation of shipping emissions to analysing air pollution density in the Izmir Bay. *Air Quality, Atmosphere & Health*, doi: 10.1007/S11869-020-00914-7
- Trefry, J.H., Natio, K.L. and Metz, S., 1996. Assessing the potential for enhanced bioaccumulation of heavy metals from produced water discharges to the gulf of Mexico. *Environmental Issues and Mitigation Technologies*, 32:339-354.
- Türkmen, A. (2011). İskenderun Körfezi'nde deniz suyu ve sedimentte oluşan ağır metal birikiminin incelenmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 1-23.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 1987. An Over view of Sediment Quality in The United States. EPA 905/9-88-002. Office of Water Regulations and Standards, Washington, DC, And EPA Region 5, Chicago.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 1993. Guidance Manual E Bedded Sediment Bioaccumulation Test. EPA-600-R-93-183. Office Of Research And Development, Washington, DC, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 1998. EPA's Contaminated Sediment Management Strategy. U.S. Environmental Protection Agency Office Of Water, Washington, DC. EPA 823/R-98/001.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2000. Methods For Assessing The Toxicity And Bioaccumulation Of Sediment-Associated Contaminants With Fresh water In vertebrates. EPA-600-R-99-064, Seconded. Office Of Research And Development, Washington, DC, USA.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2002. A Guidance Manual To Support The Assessment Of Contaminated Sediments In Fresh water Ecosystems, Volume II - Design And Implementation Of Sediment Quality Investigations, Macdonald, D. D., Ingersoll, C. G. (Ed), EPA-905-B02-001-B, Chicago.
- U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2002a. A Guidance Manual To Support The Assessment Of Contaminated Sediments In Fresh water Ecosystems, Volume I - An Ecosystem-Based Framework For Assessing And Managing Contaminated Sediments, MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G. (Ed), EPA-905-B02-001-A, Chicago. 137
- US Environmental Protection Agency (USEPA), 2012. Equilibrium Partitioning Sediment Benchmarks (Esbs) For The Protection Of Benthic Organisms: Procedures For The Determination Of The Freely Dissolved Interstitial Water Concentrations Of Nonionic Organics. EPA-600-R-02-12. Office of Research and Development, Washington, DC, USA.
- Wright, P. and Mason, C.F., 1999. Spatial and seasonal variation in heavy metals in the sediments and biota of the adjacent estuaries, the Orwell and the Stour in eastern England. *The Science of The Total Environment*, 226:139-156.
- Voutsinou-Taliadouri, F., Zeri, C. and Moriki, A., 2000. Distribution and transfer of trace metals in the Aegean Seawater (Eastern Mediterranean Basin), *Mediterranean Marine Science*, 1 (2):5-30.
- Yarsan, E., Bilgili, A. ve Türel, İ. 2000. Van Gölü'nden toplanan midye (*Unio stevensianus* Krynicki) örneklerindeki ağır metal düzeyleri. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 24: 93-96.

Yücesoy, F., 1991. Geochemistry of heavy metals in the surface sediments from the southern Black Sea shelf and upper slope. MSc Thesis, Institute of Marine Sciences, Middle East Tech. Univ., s 150, İstanbul.

## Belek Özel Çevre Koruma Bölgesi Su Kalitesinin Çok Değişkenli İstatistiksel Yöntemler ile Değerlendirilmesi

Ömer Faruk ÖZCAN<sup>1\*</sup>, Beril AKIN<sup>2</sup>

### Öz

Bu çalışmada, ülkemizde deniz kaplumbağalarının yuvalama alanı olarak koruma altında olan Belek Özel Çevre Koruma Bölgesindeki yüzey sularının uzun yıllar periyodundaki kalite değişimlerinin değerlendirilmesinde istatistiksel metotların kullanımı hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında 2005-2020 yılları arasında (15 yıl) koruma alanı içinde yer alan yüzeysel su kaynaklarına ait su kalitesi analiz sonuçları değerlendirilmeye alınmıştır. Yüzeysel su kalitesinin sınıflandırılmasında ülkemizde yürürlükte olan Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği standart değerleri çerçevesinde fiziko-kimyasal ve biyolojik parametre verileri analiz edilmiş ve su kalite sınıfları belirlenmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden Kümeleme Analizi metodolojisi kullanılmıştır. Kümeleme analizi sonucunda istatistiksel manada anlamlı üç küme tespit edilmiştir. Yerüstü Su Kalitesine göre yapılan kalite sınıflandırması ve Hiyerarşik Kümeleme Analizi benzerlik göstermiştir. Oluşan kümeler neticesinde genel su kalitesi durumunun; Acısu Deresi'nin II. Sınıf (İyi Kalite), Köprüçay Deresi'nin I. Sınıf (Çok İyi Kalite), Sarısu Deresi'nin I. Sınıf (Çok İyi Kalite), Kömürçüler Deresi'nin II. Sınıf (İyi Kalite) ve Ilıca Deresi'nin III. Sınıf (Orta Kalite) olduğu çalışmalar sonunda görülmüştür. İstatistiksel değerlendirmede kullanılan Temel Bileşenler Analizine göre dört faktör belirlenmiş, toplam varyansın % 91,04'ünü açıklamıştır. Sadece birinci faktör toplam varyansın % 59'unu açıklamaktadır. Özdeğeri en fazla olan değişkenlerin; Toplam Koliform, Toplam Kjehldal Azotu, Fekal Koliform, Toplam Azot, Toplam Fosfor olduğu temel bileşenler analiz sonuçlarına göre açıklanmıştır. Genel manada kirleticilerin turizm tesisleri, evsel kaynaklı kirleticiler ve yoğun tarımsal faaliyetlerden kaynaklandığı öngörülmektedir. Çalışma sonucunda istatistiksel olarak belirlenen faktör parametrelerin sahadaki su kalitesi izleme çalışmalarında öncelikli olarak kullanılabilir parametreler olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Su Kalitesi, Korunan Alan, Özel Çevre Koruma Bölgesi, Kümeleme Analizi, Temel Bileşenler Analizi.

## Evaluation Of Water Quality in Belek Special Environmental Protection Zone with Multivariate Statistics

### Abstract

In this study, the use of statistical methods is aimed at evaluating the long-term periodic changes in the quality of surface waters in the Belek Special Environmental Protection Area, designated as a nesting area for sea turtles in our country. Within the scope of the study, water quality analysis results for surface water sources within the protected area were considered for the years 2005-2020 (15 years). Physico-chemical and biological parameter data were analyzed based on the standard values of the Surface Water Quality Regulation in effect in our country, and water quality classes were determined. Cluster Analysis methodology, a multivariate statistical method, was used to evaluate the data. As a result of cluster analysis, three statistically significant clusters were identified. The classification of water quality according to Surface Water Quality and Hierarchical Cluster Analysis showed similarity. As a result of the clusters formed, it was observed that the overall water quality situation was Class II (Good Quality) for Acısu Stream, Class I (Very Good Quality) for Köprüçay Stream, Class I (Very Good Quality) for Sarısu Stream, Class II (Good Quality) for Kömürçüler Stream, and Class III (Medium Quality) for Ilıca Stream. According to Principal Components Analysis, four factors were determined, explaining 91.04% of the total variance, with the first factor alone explaining 59% of the total variance. The variables with the highest eigenvalues, according to the results of the principal components analysis, were Total Coliform, Total Kjeldahl Nitrogen, Fecal Coliform, Total Nitrogen, and Total Phosphorus. In general, it is anticipated that pollutants originate from tourism facilities, domestic sources, and intensive agricultural activities. The study concluded that the statistically determined factor parameters are prioritized parameters that can be used in water quality monitoring studies in the field.

**Keywords:** Water Quality, Protected Area, Special Environmental Protection Area, Cluster Analysis, Principal Component Analysis.

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, ofarukozcann@gmail.com

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Gazi Eğitim Fakültesi, Ankara, Türkiye, bsakin@gazi.edu.tr

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

## 1. Giriş

21. yüzyılın insanlık için önemli problemlerinden biri de doğal kaynakların sürdürülebilir kullanımı olmuştur (Pan, 2015; Schmitt, 2016; Gare, 2017). Hızla artan dünya nüfusu, plansız kentleşme ve sanayileşme, altyapı yatırımları, tarımda kimyevi gübre ve ilaçların yaygın kullanımı ve insan yaşamına giren pek çok yenilik, beraberinde doğal kaynakların hızla tüketilmesini, hava ve su kirliliği gibi pek çok çevre sorununu beraberinde getirmiştir. Türkiye’de Özel Çevre Koruma Bölgeleri (ÖÇKB), özgün ekolojik özellikleri ile diğer alanlardan ayrılan ve ekonomik fayda sunabilen önemli alanlardır. Bu bölgelerde meydana gelen nüfus artışıyla birlikte turizm, sanayi gibi alanlardaki artışlar, doğa koruma dengesindeki bozulmaları meydana getireceğinden, alanların sürdürülebilirliğinin sağlanmasını da gerekli hale getirmiştir.

Mevcut durumlarda; ÖÇKB’lerin diğer alanlardan tamamen ayrı bir alan olması çok zor olmakla birlikte, bu bölgelerde yaşayan insanların ihtiyaçları doğrultusunda kentsel kullanım alanlarının yeniden değerlendirilmesi ve bu çalışmalar esnasında bölge ekosistemine de olumsuz etkilerin oluşmamasına yüksek önem verilmelidir (Bakır, 2019).

Ülkemizde, ÖÇKB 2872 Sayılı Çevre Kanunu’nun 9. Maddesine göre; ekolojik açıdan önemli, çevresel kirlilik hassasiyeti yüksek su ve kara alanlarını, biyolojik çeşitlilik, doğal ve buna bağlı kültürel kaynakların gelecek nesillere aktarımının güvenli şekilde sağlanabilmesi amacı ile belirlenen alanlar olarak tanımlanmıştır. İlk ÖÇKB 1990 yılında Bakanlar Kurulu tarafından ilan edilmiştir (Şener ve Şener, 2020). Şu anda ülkemizde deniz ve kıyı alanlarını da kapsayan Belek ÖÇKB dahil olmak üzere 19 adet ÖÇKB bulunmaktadır. Türkiye’deki ÖÇKB’ler Şekil 1’de gösterilmiştir (URL-1).



Şekil 1. Türkiye'deki ÖÇKB'ler

Su kalitesinin korunması ÖÇKB gibi koruma alanlarında bilhassa önceliklidir. Çünkü bu alanlardaki ekosistem varlığının devamı, suların hem sağlıklı hem de miktar olarak dengeli olmasını gerektirir. İyi bir su kalitesi, bitki ve hayvan türlerinin sağlıklı şekilde yaşayabilmesi ve ekosistemlerin doğal işlevlerini sürdürebilmesi için önemlidir. Korunan alanlar, biyolojik çeşitliliğin korunmasını sağlar, aynı zamanda türlerin kaybını da önler. (Simberloff ve Abele, 1982; Soule', 1991; Prendergast ve ark., 1993; Pressey ve ark., 1993; Mancini ve ark., 2005).

Türkiye'de yüzey sularının; su kalitesinin, sınıfının ve miktarının belirlenmesi, izlenmesi ve korunmasının sağlanarak daha iyi su kalitesine ulaşılması için yapılması gerekli olan usul ve esaslar ortaya konulmuştur (Arıman ve Koyuncu, 2019). Bu kapsamda istenilen hedeflere ulaşmada öncelikle doğru ve entegre bir yaklaşımla su kalitesinin izlenmesi ve sonuçların bütüncül olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Su kalitesi izleme çalışmalarının aynı bölgelerde birden fazla kurum tarafından yürütülmesi, bu çalışmaları yürüten personellerin her yıl farklılık göstermesi ayrıca çalışmalar esnasında yönetmeliklerin revizyonu neticesinde bazı değişken değerlerinin izlenmesine devam edilerek bir kısmının çıkarılıp ilave edilmesi gerçekleştirilmekte bu durumda da elde edilen verilerin sürekliliği engellenmektedir. Yapılan analiz sonuçları doğrultusunda su kalitesindeki değişimlere hızlı müdahale edilebilmesi için indikatör değişken seçimi son derece önemlidir. Doğal kaynakların ve alıcı ortamların korunabilmesi amacıyla kirliliğin meydana gelmeden önlenmesi esastır. Ancak kirlilik potansiyelinin olduğu durumlarda, su kalitesine bakılarak hızlı karar verebilmek ve bu kapsamda gerekli tedbirlerin alınarak korumanın sağlanması gereklidir.

Su kalitesinin değerlendirilmesinde, suyun zamana ve konuma bağlı değerlerinde sürekli değişimlerin meydana gelmesinden dolayı tek değişkenli istatistikî yöntemler yeterli olmadığından çok değişkenli istatistikî yöntemlerin uygulanması tavsiye edilmektedir. Bu sayede verilerin tamamı, çok sayıda değişken göz önüne alınarak değerlendirilebilmektedir. Su kalite parametrelerinin uzun yıllar periyodundaki değişimini değerlendirmek için; zaman serisi analizi, temel bileşenler analizi, trend analizi, regresyon analizi, matematiksel modeller, büyük veri analitiği ve jeoistatistiksel analiz gibi uygun yöntemler bulunmaktadır (Mahloch, 1974; Einax ve ark., 1997; Santos ve ark., 2003; Kowalkowski ve ark., 2006; Yolcu, 2012; Zhang ve ark., 2013; Tripathi ve Singal, 2019; Alam ve Singh, 2023; Kwon ve Jo, 2023)

Hangi yöntemin seçileceği, özellikle hangi parametrelerin değerlendirildiği, mevcut veri setinin niteliği ve hedeflenen sonuçlar gibi faktörlere bağlıdır. Uzun vadeli değişimleri değerlendirmek için çeşitli yöntemlerin bir araya getirilmesi, daha kapsamlı bir analiz sağlayabilir.

Günümüzde çok fazla veri içeren su kalitesi parametrelerinin değerlendirilebilmesinde kümeleme analizi, temel bileşenler analizi vb. çok değişkenli istatistikî analiz yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır (Kazi ve ark., 2009; Akin ve ark., 2011; Köse ve ark., 2014; Köse ve ark., 2018; Egbueri, 2022; Gad

ve ark., 2022; Ibrahim ve ark., 2023; Chawishborwornwornng ve ark., 2024). Bu istatistiki çalışmalar ise; su kalitesinde meydana gelen değişmelerde etkili olan faktörlerin belirlenmesi ve nihai olarak su kalitesinin belirlenerek kontrol edilmesine yardımcı olabilmektedir (Arslan, 2008).

Bölgeye dair günümüze kadar yapılan çalışmalarda, su kalitesi izleme çalışmalarının genel olarak tek dönemlik ve aynı akarsuda tek bir istasyonda gerçekleştiği belirlenmiştir. Bu nedenle, söz konusu çalışma sonuçları alanda yer alan su kaynaklarının bütüncül olarak kalite değişimlerini açıklamakta yetersiz kalmıştır. Ülkemizde yer alan ÖÇKB'lerin ilgili Bakanlıklar tarafından uzun yıllardır yapılan izleme çalışmalarında ise, verilerin kapsamlı bir değerlendirilmesi yapılmamış ve her bir ÖÇKB için kritik kalite parametresi tespit edilmemiştir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, yapılan bu çalışma ÖÇKB'lerdeki akarsuların su kalitesi değişkenlerinin uzun dönem analizinin istatistiksel olarak yapıldığı ilk araştırma olması açısından özgün bir nitelik taşımaktadır.

Bu çalışmada seçilen bir ÖÇKB'nde uzun yıllar su kalitesi değişkenlerinin değerlendirilmesi için istatistiksel, ulusal su kalite indeksi kullanılarak, en hızlı ve doğru sonuca ulaşmada yeni bir yaklaşım oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışma için seçilen alan; Antalya ili dahilindeki Belek ÖÇKB'dir. Bölge; çok fazla sayıda tür ve habitat çeşitliliği olması, yüksek turizm potansiyeli, deniz kaplumbağalarının yuvalama alanlarını içermesi gibi özellikleri bakımından seçilmiştir. Belek ÖÇKB olarak belirtilen alan sınırları dahilindeki beş akarsu ve bu akarsular üzerindeki 10 izleme istasyonunun 2005-2020 yılları arasındaki 15 yıllık su kalitesi verileri ile yürütülmüştür. Analiz sonuçları yıllık raporlar halinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı – Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak, çok değişkenli istatistiksel yöntemlerden; temel bileşenler analizi ve hiyerarşik kümeleme analizi yardımı ile Belek ÖÇKB su kalitesi incelenmiştir. Yapılan değerlendirmeler 'Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği'nde belirlenen sınır değerler doğrultusunda yürütülmüştür.

Böylece Belek ÖÇKB'ndeki yüzeysel su kalitesi üzerindeki benzerlikleri belirlemek, potansiyel kirlilik kaynaklarını anlamak ve su kaynaklarına göre benzer özelliklere sahip olanları gruplandırarak sürekli izlenebilecek kritik parametreleri belirlemek hedeflenmiştir.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Çalışma Alanı**

Belek ÖÇKB; sahip olduğu doğal, kültürel ve tarihi özellikleri ile sürdürülebilirliği sağlanarak gelecek nesillere aktarılması gereken çok önemli değerlere sahiptir. Bölge, Akdeniz çanağının kuzeydoğusundaki antik yerleşmelerin bir uzantısı olarak öncelikle uluslararası vazgeçilemez sosyo-kültürel ve tarihi yapının bir parçasıdır. Dolayısıyla Antalya ilinin doğusundaki Perge, Selge ve Aspendos gibi antik yerleşim merkezleri, Belek ÖÇKB'nin de içerisinde yer aldığı bir bütünün

parçalarıdır. Bu haliyle bölge gerek uluslararası gerekse ulusal ve bölgesel ölçekte sosyo-kültürel, sosyo-ekonomik ve tarihi bir öneme sahiptir. Sahip olduğu kıyı ve deniz alanları ile turizm potansiyeli alanı cazibe merkezi haline getirmektedir. Bununla birlikte toprak yapısının tarımsal faaliyetlere uygun nitelikte olması nedeniyle alanın önemli bir kısmı tarım arazileri ile kaplıdır (TVKGM, 2023).

TÜİK tarafından açıklanan 2023 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi sonuçlarına göre Belek Mahallesi nüfusu 9124 kişi olarak açıklanmıştır (URL-2). Yaz aylarında ise tatil amaçlı gelen yerli ve yabancı turistlerle birlikte Belek turizm bölgesinin nüfusu 2 milyon kişiye ulaşmaktadır (Altunyüzük, 2022). Belek'te 1984 yılında başlayan kitle turizmi hareketi, 90'lı yıllarda golf turizmiyle çeşitlenmiştir. 2004 yılında yapılan planlama ile turizm merkezi kapsamında tüm tahsisler tamamlanmıştır. 2006 yılında gerçekleştirilen yeni bir sınır genişletilmesi ile Belek Turizm Merkezi sınırları bugünkü halini almıştır (URL-3).

Bölge, Antalya ili sınırları içerisinde, Serik ve Manavgat ilçelerine bağlı 14 mahalleden oluşmaktadır. Batısında Belek Mahallesi doğusunda Ilıca Mahallesi bulunmaktadır. Bölge yaklaşık 6 km genişliğinde 25 km uzunluktadır. Kıyıda yaklaşık 1 km'si denizel ortamdır. Bölgenin Serik ilçesinde kalan kısmı Karadayı Mahallesi'nin kuzeybatısında bulunan Yassıyusuflar Tepesinden başlayarak Köprüçay'da; Manavgat ilçesinde kalan kısmı ise Köprüçay'dan başlayarak Evrenseki'de son bulmaktadır. Genelde orta engebeli, tarıma elverişli bir arazi yapısına sahiptir. Belek ÖÇKB'ne ana ulaşım alanın kuzeyinden ve doğu kısmında içinden geçen Antalya-Alanya D 400 karayolu ile sağlanmaktadır. Alan içerisinde bulunan mahalleler, ikincil konutlar ve turizm tesislerine bu ana karayoluna bağlanan yollar ile ulaşılabilir. Antalya Havaalanı'na yaklaşık 30 km, Manavgat ilçe merkezine 11 km, Serik ilçe merkezine 3 km ve Antalya il merkezine yaklaşık 42 km uzaklıktadır.

Antalya'da turizm etkinliklerinde meydana gelen gelişmeler ile birlikte en önemli geçim kaynakları turizm, ticaret ve tarım sektörleri olmuş ve bölge bu sektörlerde çalışmak için göç alan bir yapıya da bürünmüştür.; Antalya ili, Serik ve Manavgat ilçelerine bağlı; Boğazkent, Denizyaka, Perakende ve Kısalar Mahallerinin tamamı Belek ÖÇKB sınırları içinde bulunmaktadır. Eminceler ve Bereket Mahallelerinin küçük bir kısmı Belek ÖÇKB sınırları içerisinde yer alırken, Belek, Karadayı, Büklüce, Denizkent, Gündoğdu, Yavrudoğan, Çolaklı ve Evrenseki Mahallelerinin büyük bir kısmı ÖÇKB sınırları içerisine girmektedir. Belek ÖÇKB; batı sınırında Eminceler ve Belek Mahalleleri, doğu sınırında ise Evrenseki Mahallesi ile komşudur. Alanın güneybatı sınırı köşesi Belek Turizm Merkezi'ndeki otel ve golf sahaları ile komşu iken geriye kalan güney sınırının çoğunluğunu Akdeniz oluşturmaktadır (TVKGM, 2023).

Çalışma alanı olarak belirlenen Belek ÖÇKB 22.10.1990 tarihli ve 90/1117 sayılı Bakanlar Kurulu Kararı ile 111,79 km<sup>2</sup>lik alan tespit ve ilan edilmiştir. 25.12.2019 tarihli ve 30989 sayılı Cumhurbaşkanlığı Kararı ile sınırlarda değişiklik yapılarak 117,424 km<sup>2</sup> karasal 24,256 km<sup>2</sup> denizel olmak üzere toplamda 141,680 km<sup>2</sup> lik alan tespit ve ilan edilmiştir. Antalya ili, Serik (Boğazkent ve

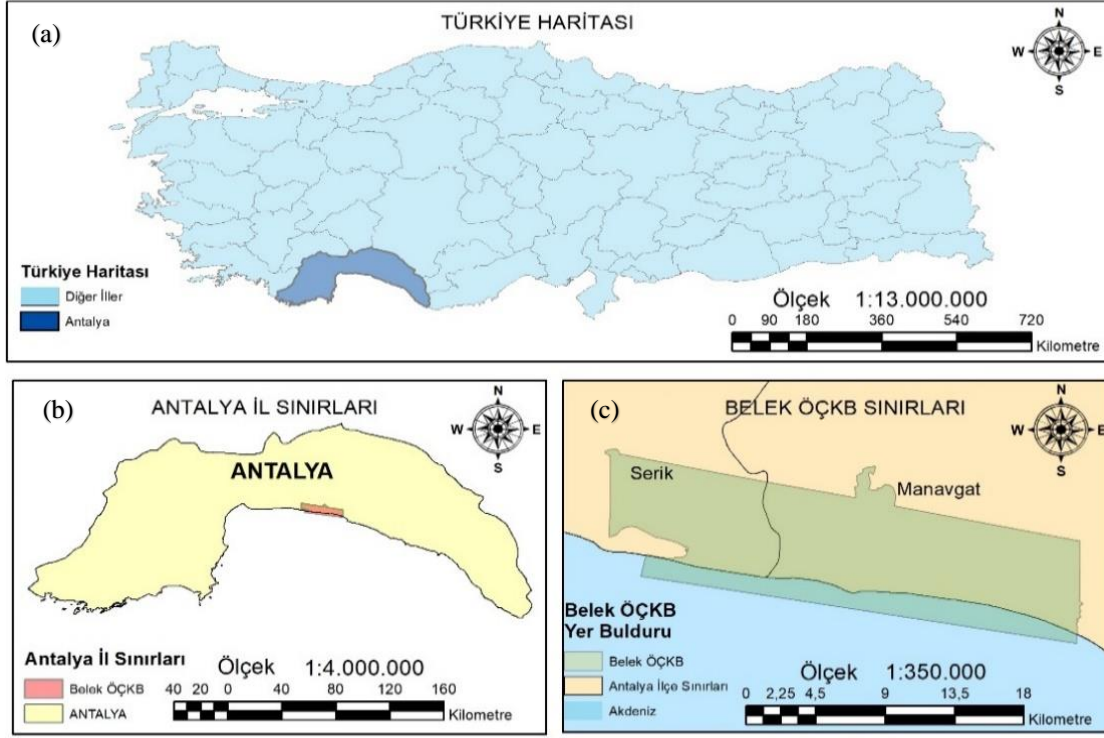


Karadayı Mahalleleri) ve Manavgat (Çolaklı ve Gündoğdu Mahalleleri) ilçeleri dahilinde yer almaktadır (TÜBİTAK, 2013; ÇŞB, 2021).

Belek ÖÇKB, kıyı kumulları tarafından biçimlendirilen 29 km'lik kıyusal alanı içermektedir. Geniş kumullar ve orman alanları biyoçeşitlilik zenginliği bakımından bölgeyi oldukça zengin hale getirmiştir. Endemik balık türü *Aphanius anatoliae*, endemik Serik armudu *Pyrus serikensis*, *Caretta caretta* ve *Chelonia mydas* deniz kaplumbağası türleri bölgenin zenginlikleri arasındadır. Belek ÖÇKB Biyolojik Çeşitlilik Araştırma Projesi 2019 yılında tamamlanmıştır. Bu proje sonuçlarına göre; 556 tohumlu bitki taksonu ile 53 tohumuz bitki taksonu, 57 büyük ve küçük memeli taksonu, 245 kuş türü, 273 denizel/içsu flora ve fauna taksonu, 25 sürüngen, 4 çift yaşar türü ve 248 omurgasız hayvan taksonu, yeni kayıt niteliğinde olan 50 adet tohumlu bitki ve 90 adet omurgasız hayvan taksonu tespiti yapılmıştır (TÇDR, 2021).

Belek ÖÇKB; deniz sıcaklığı, iklimi ve geniş kumsallarından dolayı deniz kaplumbağalarının yuvalama alanı olması sebepleriyle yüksek hassasiyet içermektedir. Güneşli gün sayısının fazla olması ve geniş kumsalları nedeniyle ülkemizin en yoğun turizm bölgelerindedir (Şener ve Şener, 2020). Belek bölgesinde turizm faaliyetlerinin temelinde coğrafi etkenlerden olan iklim faktörüdür. Bölgede hâkim olan Akdeniz iklimi ve buna bağlı iklim elemanları, deniz, kum ve güneş endeksli turizm aktivitelerinin gelişim ve gerçekleşmesinin esasını oluşturmaktadır. İklim etkenlerinin temeli sıcaklık parametresidir.

Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'nden alınan 1930-2020 yılları arasındaki genel hava durumu bilgileri, Belek ve çevresinin yıllık ortalama sıcaklığı 19 °C, en soğuk ayın ortalamasının (Ocak ayı) 10 °C ve en sıcak ayın (Ağustos) ortalamasının 28 °C olduğunu göstermiştir. Yaz aylarında genellikle 30 °C'nin üzerine ulaşırken, bazı dönemlerde (Temmuz-Ağustos) 40 °C'nin üstüne çıkmaktadır. Bölgenin deniz suyu sıcaklığı 21 °C'dir (Altunyüzük, 2022). Belek ÖÇKB'nin konumunu gösteren yer bulduru haritası (ArcMap 10.5) Şekil 2. de verilmiştir.



Şekil 2. (a) Ölçeklendirilmiş Türkiye haritası (b) Ölçeklendirilmiş Antalya il sınırları haritası (c) Ölçeklendirilmiş Belek ÖÇKB haritası

## 2.2. Su Kalitesi İzleme İstasyonları

Çalışma kapsamında Belek ÖÇKB içerisinde yer alan akarsu su kalitesi izleme istasyonları ve yakın çevresinde arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda arazi çalışmalarında, akarsular üzerinde etkili olan noktasal ve yayılı muhtemel kirliliklerin, nereden hangi yolla hangi tür kirlilik girişi olabileceği konularında da değerlendirilmeler yapılmıştır. Belirlenen baskılar doğrultusunda uzun yıllar verilerine sahip olunan 10 istasyon çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmıştır.

İstasyon noktalarının harita üzerinde gösterimi ArcMap 10.5 kullanılarak oluşturulmuş ve Şekil 3.'de gösterilmiştir. İstasyonlara ait koordinat bilgileri ve maruz kaldığı antropojen baskı tanımları ise Tablo 1'de belirtilmiştir.



Şekil 3. Belek ÖÇKB akarsular su kalitesi izleme noktaları

Tablo 1. Belek ÖÇKB yüzeysel su kalitesi izleme noktaları ve özellikleri

İstasyon Adı	Koordinat	Konum Özellikleri	Maruz Kaldığı Antropojen Baskılar	En yakın yerleşim yerine mesafesi
S1	36°50'58.7 31°06'05.2	Acısu Deresi'nin kuzey bölümü	Tarım ve sera alanları.	900 m, Karadayı Mah.
S2	36°50'39.5 31°07'38.1	Acısu Deresi Boğazkent AAT deşarj öncesi	Tarım alanları, turizm tesisleri, tatil siteleri. Boğazkent AAT	100 m, Boğazkent Mah.
S3	36°50'35.1 31°07'36.7	Acısu Deresi Boğazkent AAT deşarj sonrası	Tarım alanları, turizm tesisleri, tatil siteleri, Balıkçı barınağı, Boğazkent AAT	150 m, Boğazkent Mah.
S4	36°50'58.7 31°06'05.2	Acısu Deresi'nin denize dökülmeden önceki kısmı güney bölümü	Turizm tesisleri.	2300 m, Boğazkent Mah.
S5	36°52'83.3 31°10'16.1	Köprüçay Deresi'nin kuzey bölümü	Tarım ve sera alanları.	300 m, Büklüce Mah.
S6	36°49'89.4 31°10'53.9	Köprüçay Deresi'nin denize dökülmeden önceki kısmı güney bölümü	Turizm tesisleri ve tarımsal alanlar.	1000 m, Denizyaka Mah.
S7	36°50'16.5 31°14'58.7	Sarısu Deresi'nin güney bölümü	Tarım ve sera alanları.	500 m, Kısalar Mah.
S8	36°50'16.5 31°14'58.7	Sarısu Deresi'nin denize dökülmeden önceki kısmı güney bölümü	Tarım ve sera alanları.	1100 m, Perakende Mah.
S9	36°48'41.0 31°20'47.3	Kömürcüler Deresi'nin güney bölümü	Turizm tesisleri ve tarımsal alanlar.	550 m, Çolaklı Mah.
S10	36°48'14.4 31°21'12.8	Ilıca Deresi'nin güney bölümü	Turizm tesisleri.	400 m, Evrenseki Mah.

### 2.3. Veri Analizleri

Birden fazla değişken içeren istatistiki yöntemler; su kalite analizlerinde, lokasyon ve zamana bağlı değişimlerin, su kalitesindeki ana kirleticilerin belirlenmesinde çoğunlukla uygulanan yöntemdir (Yerel ve Ankara, 2011; Kılıç, 2017). Bu nedenle araştırma kapsamında verilerin tanımlayıcı istatistikleri ortaya koyularak Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği çerçevesinde su kalitesi sınıflandırma çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Fizikokimyasal parametreler arasındaki ilişkinin düzeyini belirlemek amacı ile korelasyon analizi uygulanmıştır. Değişkenler arası ilişkilerin yönü ve düzeyi korelasyon analizi ile belirlenmiş, hatta birden fazla değişken arasındaki ilişki de eş zamanlı olarak bu analiz ile saptanmıştır. Bu kapsamda verilere Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır. (Ustaoglu ve ark., 2019; Haghazar ve ark., 2021; Üstün Odabaşı ve ark., 2022; Şimşek ve ark. 2022).

Belek ÖÇKB’de yer alan akarsuların su kalitesinin değerlendirilebilmesi amacıyla temin edilen analiz sonuçlarına göre 14 değişken verileri ile SPSS 26 programı üzerinde temel bileşenler analizi gerçekleştirilmiştir. Birden büyük olan özdeğerler, verilerin açıklanması için gereken varyans kaynağı olarak, temel bileşenlerin değerlendirilmesi için kriter seçilmiştir (Tokatlı ve Helvacioğlu, 2019). Temel bileşen analizi (Principal Component Analysis), büyük bir değişken kümesini, bu kümedeki bilgilerin anlamı koruyacak kadarını içeren daha küçük bir değişken kümesine dönüştürerek boyutluluğu azaltmak için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem birbiri ile ilişkili değişkenlerin bir araya getirilerek daha az değişkenle açıklanması, değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek ve su kalitesi üzerine muhtemel çevresel baskıların tanımlanması amacıyla kullanılmaktadır (Sing ve ark.,2004; Dalkıran ve ark., 2020; Şimşek ve ark., 2022).

Temel bileşenlerin sayısını belirlemek için özdeğer grafiklerinden yararlanılır, özdeğeri 1’in üzerinde olanlar önemli kabul edilir, özdeğer arttıkça faktörün değeri de artmaktadır (Kim ve Mueller, 1987; Shresta ve Kazama, 2007; Oke ve Sangdoyin, 2015)

En yakın ilişkili bulunan nesnelere arayarak, verileri kendiliğinden benzer gruplara (küme) göre sınıflandırarak, kararlı bir kümeyi diğer kümelerden ayırmanın temel amacı olan hiyerarşik küme analizi yapılmıştır (Reena ve ark., 2022). Çalışma boyunca yapılan istatistiksel değerlendirmelerde olduğu gibi, 0,05'in altındaki p değerleri istatistiki manada anlamlı kabul edilmiştir (Akin ve Kırmızıgöl, 2017).

Kümeleme analizi, verilerin değişkenler açısından benzerlik durumlarına göre gruplandırılması için uygulanmaktadır. Analiz sonucunda oluşacak küme sayısı, benzerlik bulma yöntemi ve benzerlik derecesi kullanıcı tarafından da belirlenmektedir. Oluşturulan küme içlerinde benzerlik en yüksek iken, farklı iki küme arasında benzerliğin düşük olması analiz başarılı olduğunu gösterir. Başarılı bir analiz sayesinde veri setlerindeki benzerlik ve farklılıkları ortaya çıkarmak mümkündür (Lattin ve ark., 2003; McKenna, 2003; Shresta ve Kazama, 2007; Mutlu ve Aydın Uncumusaoğlu, 2022).

Kümeleme analizleri; hiyerarşik olan ve olmayan olarak sınıflandırılmaktadır. Hiyerarşik olanlar, iki verinin değişkenleri arasında olan benzerliği mesafe olarak ifade etmektedir. Öklidyen mesafesi bu benzerlik tanımlama mesafe çeşitlerinden biridir ve hiyerarşik sınıflandırmada sıklıkla kullanılır. Hiyerarşik olmayan metotta ise, ayırma yöntemi önceden belirlenen grup sayısına göre gerçekleştirilmektedir. Yapılan çalışmalarda çoğunlukla hiyerarşik metot kullanılmakla birlikte analiz sonuçları dendogram grafikleri ile görselleştirilmektedir (Otto, 1998; Özdamar, 1999; Shresta ve Kazama, 2007; Fan ve ark., 2010; Kalaycı, 2016; Kılıç, 2017; Aydın Uncumusaoğlu ve Mutlu, 2021).

Çalışma kapsamında Belek ÖÇKB'nde belirlenen numune istasyonlarında 2005-2020 yılları arasındaki 15 yıllık su kalitesi analiz sonuçları toplanarak değerlendirilmeye alınmıştır. Uzun yıllar periyoduna ait analiz sonuçlarında; Sıcaklık (°C), pH, Çözünmüş Oksijen (mg/L), Askıda Katı Madde (mg/L), Elektriksel İletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Amonyum Azotu (mg/L), Nitrit Azotu (mg/L), Nitrat Azotu (mg/L), Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L), Toplam Azot (mg/L), Toplam Fosfor (mg/L), KOİ (mg/L), Fekal ve Toplam Koliform (CFU/100 mL) parametrelerinin istatistiksel olarak değerlendirilmeleri yapılmıştır.

İstatistiksel değerlendirmelerde, değişkenler için 15 yıllık veri ortalamaları alınarak tablo oluşturulmuştur. Bu kapsamda istasyonlara ait tüm veriler, Microsoft Excel veri tabanına işlenmiş buradan SPSS26 istatistik programı, Google Earth Pro, ArcMap10.5 programları desteği ile ön istatistik, çok değişkenli istatistik, grafik ve çeşitli görselleştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

### **3. Bulgular ve Tartışma**

#### **3.1. Su Kalitesi Sınıflandırma**

Belek ÖÇKB dahilinde yer alan beş akarsu üzerindeki (Acısu, Köprüçay, Sarısu, Kömürcüler, Ilıca Deresi) 10 istasyondan alınan analiz sonuçları Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği çerçevesinde değerlendirilmiştir. Bu kapsamda, 2005-2020 yılları Su Kalitesi verilerinin SPSS-26 programı üzerinden yapılan istatistik çalışmaları neticesinde Sıcaklık (°C), pH, Çözünmüş Oksijen (mg/L), Askıda Katı Madde (mg/L), Elektriksel İletkenlik ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), Amonyum Azotu (mg/L), Nitrit Azotu (mg/L), Nitrat Azotu (mg/L), Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L), Toplam Azot (mg/L), Toplam Fosfor (mg/L), KOİ (mg/L), Fekal Koliform (CFU/100 mL) ve Toplam Koliform (CFU/100 mL) değişkenleri için 15 yıllık verilerin ortalamaları alınarak tablo oluşturulmuştur.

Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği “Ek-5 Tablo-2”ye göre yapılan “Yerüstü Su Kaynakları Parametre Sınıf Bazlı Kalite Kriterleri” (YSKY, 2021) doğrultusunda su kalitesi sınıflandırması gerçekleştirilerek, Tablo 2 üzerinde gösterimi sağlanmıştır. Yüzey suları kalitesi üç temel sınıf ile kategorize edilmektedir. Buna göre “mavi” olarak belirtilenler “I.Sınıf-çok iyi”, “yeşil” olarak

belirtilenler “II.Sınıf-iyi” ve “sarı” olarak belirtilenler “III.Sınıf-orta” kalite su olarak sınıflandırılmıştır.

**Tablo 2.** Belek ÖÇKB akarsularının uzun yıllar periyodu (2005-2020) su kalitesi sınıfı

I.SINIF		6-9	8<		<400	<0,2		<3	<0,5	<3,5	<0,08	<25		
II.SINIF		6-9	6-8		400-1000	0,2-1		3-10	0,5-1,5	3,5-11,5	0,08-0,2	25-50		
III.SINIF		6-9	<6		1000<	1<		10<	1,5<	11,5<	0,2<	50<		
İstasyon Adı	Sıcaklık (°C)	pH	Çözünmüş Oksijen (mg/L)	Askıda Katı Madde (mg/L)	Elektriksel İletkenlik (µS/cm)	Amonyum Azotu (mg/L)	Nitrit Azotu (mg/L)	Nitrat Azotu (mg/L)	Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	Toplam Azot (mg/L)	Toplam Fosfor (mg/L)	KOI (mg/L)	Fekal Koliform (CFU/100 mL)	Toplam Koliform (CFU/100 mL)
S1	20,71	8,07	7,55	24,1	2935,01	0,25	0,07	1,37	1,57	3,01	0,19	29,85	1308	6266
S2	20,76	8,05	7,3	18,09	4173,57	0,23	0,08	1,16	1,75	2,99	0,22	34,26	4361	33055
S3	20,87	8,04	7,29	19,55	4489,29	0,31	0,07	1,12	2,52	3,7	0,23	37,76	5750	49005
S4	21,48	8,02	7,92	15,5	7888,13	0,22	0,08	1,14	1,86	3,07	0,2	20,71	3280	12561
S5	18,46	8,24	9,4	20,52	435,27	0,08	0,01	0,52	1,22	1,76	0,1	20,56	741	2656
S6	19,56	8,23	9,1	18,78	1168,22	0,07	0,02	0,56	1,32	1,89	0,07	20,3	617	2541
S7	21,26	8,11	8,01	14,41	1078,66	0,16	0,04	0,9	1,11	2,06	0,11	19,56	2267	6437
S8	21,44	8,05	7,89	19,79	7053,68	0,2	0,12	0,62	1,24	1,97	0,12	31,82	937	4779
S9	22,11	8,06	7,65	35,02	16007,27	0,27	0,06	1,08	1,89	3,03	0,27	37,75	2980	10940
S10	21,49	8,08	7,31	23,69	3947,69	0,72	0,16	0,73	2,17	3,06	0,23	28,43	6165	27970

Acısu Deresi (S1-S2-S3-S4 istasyonları); Çözünmüş Oksijen değerlerinin 7,3 – 7,92 (mg/L) aralığında II. Sınıf, Elektriksel İletkenlik değerlerinin 2935 – 7888 (µS/cm) aralığında III. Sınıf, Amonyum Azot değerinin 0,22 – 0,31 (mg/L) II. Sınıf, Nitrat Azotu değerinin 1,12 – 1,37 (mg/L) I. Sınıf, Toplam Kjeldahl Azotu değerinin 1,57 – 2,52 (mg/L) III.Sınıf, Toplam Azot değeri 2,99 – 3,07 (mg/L) I. Sınıf, sadece S3 istasyonunda 3,7 (mg/L) II. Sınıf, Toplam Fosfor değerinin S1 – S4 istasyonlarında 0,19 – 0,2 (mg/L) II. Sınıf, S2 – S3 istasyonlarında 0,22 – 0,23 (mg/L) III. Sınıf, KOİ değerinin 29,85 – 37,76 (mg/L) II. Sınıf, S4 istasyonunda 20,71 (mg/L) I.Sınıf olduğu belirlenmiştir. Genel olarak Acısu Deresi 15 yıllık periyotta nütrient (azot, fosfor) parametreleri açısından düşük kaliteye sahip olup, III. Sınıf kalite özelliği göstermektedir.

Köprüçay Deresi (S5-S6 istasyonları); Çözünmüş Oksijen değerlerinin 9,1 – 9,4 (mg/L) aralığında I. Sınıf, Elektriksel İletkenlik değerlerinin S5 istasyonunda 435 (µS/cm) II. Sınıf, S6 istasyonunda 1138 (µS/cm) III.Sınıf, Amonyum Azot değerinin 0,07 – 0,08 (mg/L) I. Sınıf, Nitrat Azotu değerinin 0,52 – 0,56 (mg/L) I. Sınıf, Toplam Kjeldahl Azotu değerinin 1,22 – 1,32 (mg/L) II.Sınıf, Toplam Azot değeri 1,76 – 1,79 (mg/L) I. Sınıf, Toplam Fosfor değerinin S5 istasyonunda 0,1 (mg/L) II. Sınıf, S6 istasyonunda 0,07 (mg/L) I. Sınıf, KOİ değerinin 20,3 – 20,56 (mg/L) I. Sınıf olduğu belirlenmiştir. Köprüçay Deresi’de 15 yıllık periyotta nütrient (azot, fosfor) parametreleri açısından düşük kaliteye sahip olup, II. Sınıf kalite özelliği göstermektedir.

Sarısu Deresi’ndeki S7-S8 istasyonlarında; Çözünmüş Oksijen değerlerinin S7 istasyonunda 8,01 (mg/L) I. Sınıf, S8 istasyonunda 7,89 (mg/L) II.Sınıf, Elektriksel İletkenlik değerlerinin 1078 – 7053 (µS/cm) III. Sınıf, Amonyum Azot değerinin S7 istasyonunda 0,16 (mg/L) I.Sınıf, S8

istasyonunda 0,20 (mg/L) II. Sınıf, Nitrat Azotu değerinin 0,62 – 0,9 (mg/L) I. Sınıf, Toplam Kjeldahl Azotu değerinin 1,11 – 1,24 (mg/L) II.Sınıf, Toplam Azot değeri 1,97 – 2,06 (mg/L) I. Sınıf, Toplam Fosfor değerinin 0,11 – 0,12 (mg/L) II. Sınıf, KOİ değerinin S7 istasyonunda 19,56 (mg/L) I. Sınıf, S8 istasyonunda 31,82 (mg/L) II. Sınıf olduğu belirlenmiştir

Kömürcüler Deresi'ndeki S9 istasyonunda; Çözünmüş Oksijen değeri 7,65 (mg/L) II. Sınıf, Elektriksel İletkenlik değerleri 16007 ( $\mu$ S/cm) III. Sınıf, Amonyum Azot değeri 0,27 (mg/L) II.Sınıf, Nitrat Azotu değeri 1,08 (mg/L) I. Sınıf, Toplam Kjeldahl Azotu değeri 1,89 (mg/L) III.Sınıf, Toplam Azot değeri 3,03 (mg/L) I. Sınıf, Toplam Fosfor değeri 0,27 (mg/L) III. Sınıf, KOİ değerinin 37,75 (mg/L) II. Sınıf olduğu belirlenmiştir

Ilıca Deresi'ndeki S10 istasyonunda; Çözünmüş Oksijen değeri 7,31 (mg/L) II. Sınıf, Elektriksel İletkenlik değerleri 3947 ( $\mu$ S/cm) III. Sınıf, Amonyum Azot değeri 0,72 (mg/L) II.Sınıf, Nitrat Azotu değeri 0,73 (mg/L) I. Sınıf, Toplam Kjeldahl Azotu değeri 2,17 (mg/L) III.Sınıf, Toplam Azot değeri 3,06 (mg/L) I. Sınıf, Toplam Fosfor değeri 0,23 (mg/L) III. Sınıf, KOİ değerinin 28,43 (mg/L) II. Sınıf olduğu belirlenmiştir

Bölgedeki akarsuların 15 yıllık su kalitesi verilerine göre su kaynaklarında organik madde ve nütrient (N, P) açısından kalite değişimlerinin II. ve III. Sınıf özellik gösterdiği anlaşılmaktadır. Özellikle TP değerlerinin bütün akarsu istasyonlarında yüksek olması dikkat çekicidir. Fosfatlar yüzeysel veya yeraltı sularında, minerallerden veya madenlerden doğal parçalanma süreçlerinin sonucu olarak, tarımdan dönen suların endüstriyel ve evsel atıkların su kaynaklarına katılmasının sonucu olarak bulunurlar. Genellikle yüzeysel sularda fosfat deşişimleri bitkiler tarafından kullanılarak fotosentez ile hücre yapısına alındıklarından yüksek değildir. Ancak, akarsu istasyonlarında ölçülen TP miktarlarının (0,1-0,27 mg/L) yüksek olması ortamda doğal döngüde kullanılacak miktardan daha fazla fosforun ortamda mevcut olduğunu göstermektedir. Özellikle bölgedeki tarımsal faaliyetler ve atıksu arıtma tesislerinin verimleri göz önüne alındığında söz konusu akarsuların yoğun gübre kullanımı ve ileri atıksu arıtımına sahip olmayan ve/veya kontrolsüz evsel atıksu deşarjları ile kirlendiği düşünölmektedir.

### 3.2. Kümeleme Analizi

Belek ÖÇKB dahilinde numune istasyonlarının su kalitesinin sınıflandırma ve değerlendirilme çalışmalarının uygulanması için SPSS 26 programı ile "Hierarchical Clustering" (Hiyerarşik Kümeleme) Analizi yapılmıştır. Kümeleme (Cluster) metodu olarak "Between-groups linkage" mesafe ölçümü için ise "Euclidean Kare" yöntemi kullanılmıştır.

SPSS 26 programı yardımıyla ve 14 değişken verisi üzerinden gerçekleştirilen analiz sonuçları doğrultusunda hiyerarşik kümeleme metoduna göre istatistiksel olarak anlamlı üç küme tespit edilmiştir. I. Küme; Acısu Deresi (S1), Köprüçay Deresi (S5-S6) ve Sarısu Deresi (S7-S8), II. Küme;

Acısu Deresi'nin Denize Dökülmeden Öncesi (S4) ve Kömürcüler Deresi (S9), III. Küme; Acısu Deresi'nin Boğazkent Atıksu Arıtma Tesisi önce ve sonrası (S2-S3) ve Ilıca Deresi (S10) olarak belirlenmiştir.

Kümeleme analizi sonuçları; tarımsal ve turizm faaliyetleri, arazi kullanımları, arıtma tesisleri vb. baskılar doğrultusunda değerlendirilmiştir (Shresta ve Kazama, 2007; Muangthong ve Shresta, 2015).

Acısu Deresi için S1-S2-S3 lokasyonlarında yerleşim yeri, turizm tesisleri ve tarım alanları baskıları bulunmaktadır. S2-S3 noktalarında ilave olarak Boğazkent atıksu arıtma tesisi deşarj noktası üzerinde olduğundan baskı altında yer almaktadır. Koliform değerlerinin diğer istasyonlara göre yüksek olmasının kontrolsüz insan faaliyetleri sonucu alıcı ortama deşarj olan veya yüzeysel akış sonucu alıcı ortama gelen kirleticilerden kaynaklı olduğu öngörülmektedir. Ancak Acısu Deresi'nin denize dökülmeden önceki noktası olan S4 istasyonunda su kalitesinin oldukça iyi seviyede denize ulaştığı anlaşılmaktadır.

Köprüçay Deresi'ndeki S5-S6 lokasyonlarında yerleşim yerleri, tarım alanları ve turizm tesisleri gibi baskılar bulunmakla birlikte çok yoğun durumda tesis bulunmamaktadır. Bu lokasyonlarda su kalitesinin oldukça iyi seviyede olduğu anlaşılmaktadır.

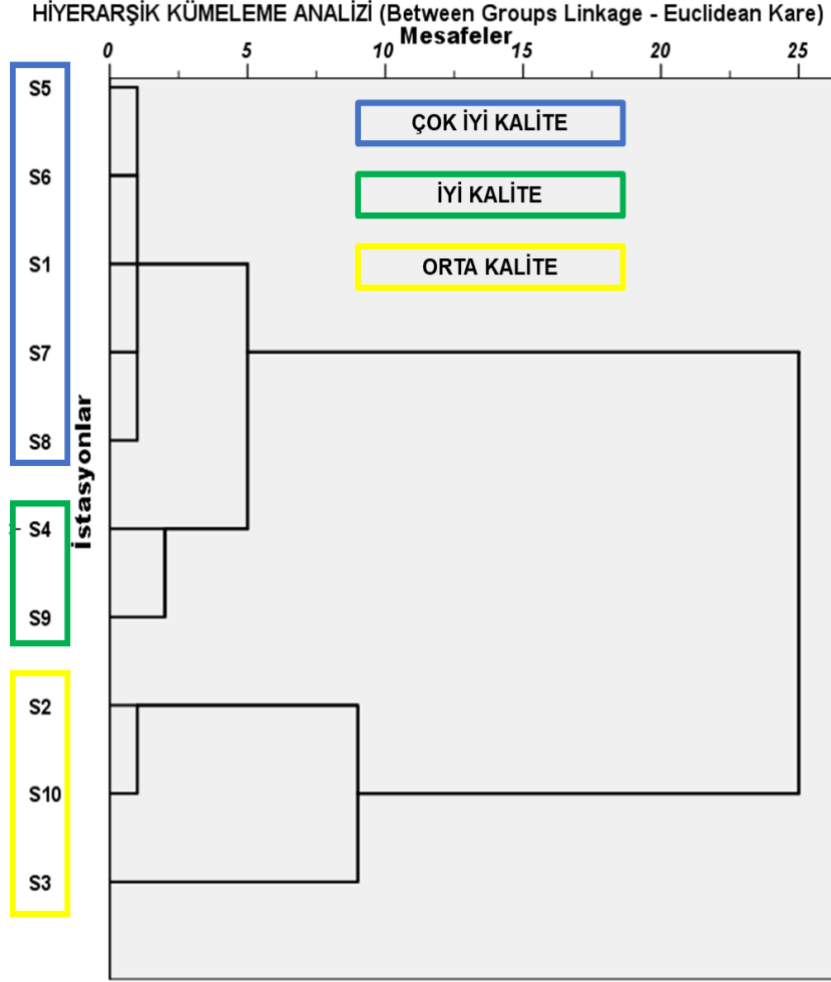
Sarısu Deresi'ndeki S7-S8 istasyonlarında tarım ve sera alanları, yerleşim yeri gibi baskılar bulunmakla birlikte çok yoğun kirlilik yükü bulunmamaktadır. Ancak az miktar da olsa Koliform değerlerinin yüksek çıkmasında kontrolsüz insan faaliyetleri sonucu alıcı ortama deşarj olan veya yüzeysel akış sonucu alıcı ortama gelen kirleticilerden kaynaklı olduğu öngörülmektedir.

Kömürcüler Deresi'ndeki S-9 civarında turizm tesisleri, yerleşim yeri ve tarımsal alanlar gibi baskılar bulunmaktadır. Ilıca Deresi civarında ise; yerleşim yeri ve turizm tesisi gibi baskılar bulunmaktadır. Dere etrafında yoğun şekilde turizm tesisi ve yerleşim noktası vardır. Bu iki derenin koliform, fosfor ve azot değerleri diğer üç dereye nazaran daha yüksek olmuştur. Koliform değerlerinin diğer istasyonlara göre yüksek olmasının kontrolsüz insan faaliyetleri sonucu alıcı ortama deşarj olan veya yüzeysel akış sonucu alıcı ortama gelen kirleticilerden kaynaklı olduğu öngörülmektedir. Ayrıca fosfor değeri de sınır değerlerin oldukça üzerinde olduğu görülmektedir. Yerüstü sularında meydana gelen fosfor kirliliğinin majör kaynağı tarım faaliyetleri ve evsel faaliyetler sonucu meydana gelen kirleticilerdir. Alıcı ortama nokta bazlı deşarjların etkisinin olduğu tahmin edilmektedir (Wu, 2005; Álvarez-Rogel ve ark., 2006). Azot değeri yerüstü sularda organik kirliliğin belirteçidir. Bu nedenden dolayı azot değerlerinin yüksek görüldüğü S9 ve S10 istasyonları için organik kirlilik oranının yüksek olduğu ifade edilebilir (Yang ve ark., 2007).

Yerüstü Su Kalitesi sınıflandırma sonucu ve Hiyerarşik Kümeleme Analiz sonuçlarının benzerlik gösterdiği durumu göz önüne alındığında I. Kümede yer alan S1-S5-S6-S7-S8 istasyonlarının "Çok İyi Kalite", II. Kümede yer alan S4-S9 istasyonlarının "İyi Kalite", III. Kümede



yer alan S2-S3-S10 istasyonlarının ise “Orta Kalite” olarak sınıflandırılabilceği hususu her iki analiz sonucunda da ortaya koyulmuştur. Hiyerarşik Kümeleme Analizi dendogram gösterimi Şekil 4’de ifade edilmiştir.

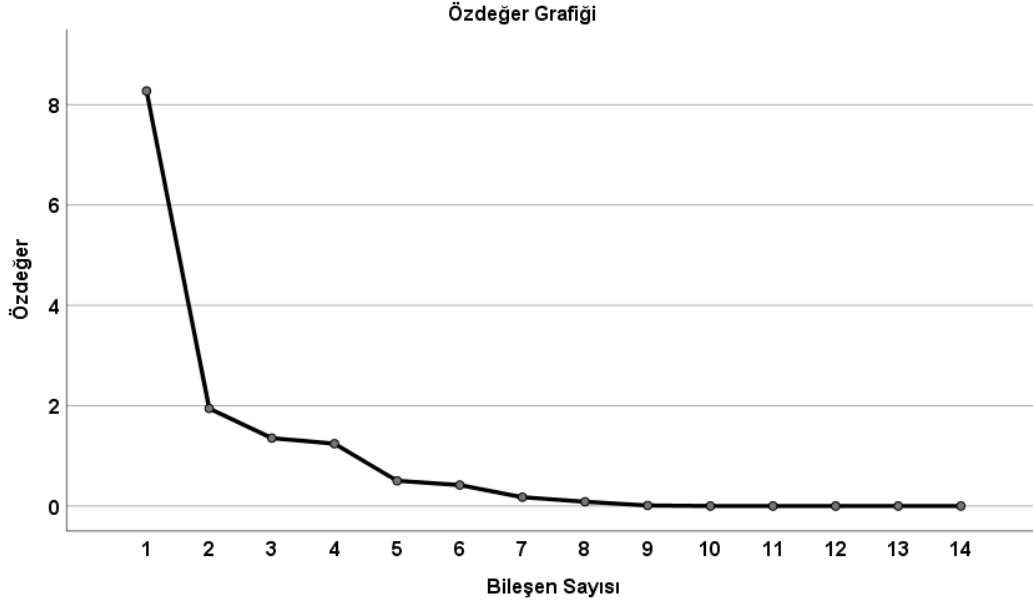


Şekil 4. Hiyerarşik Kümeleme Analizi dendogram gösterimi.

Şekil 4’den de anlaşıldığı gibi, kümeleme analizi sonucunda elde edilen verilerin su kalitesinin sınıflandırılmasında, veri setlerinde benzerlik olup olmadığını ifade edilmesinde kullanılabileceği görülmüştür (Pejman ve ark., 2009; Muangthong ve Shrestha, 2015; Monica ve Choi, 2016).

### 3.3. Temel Bileşenler Analizi

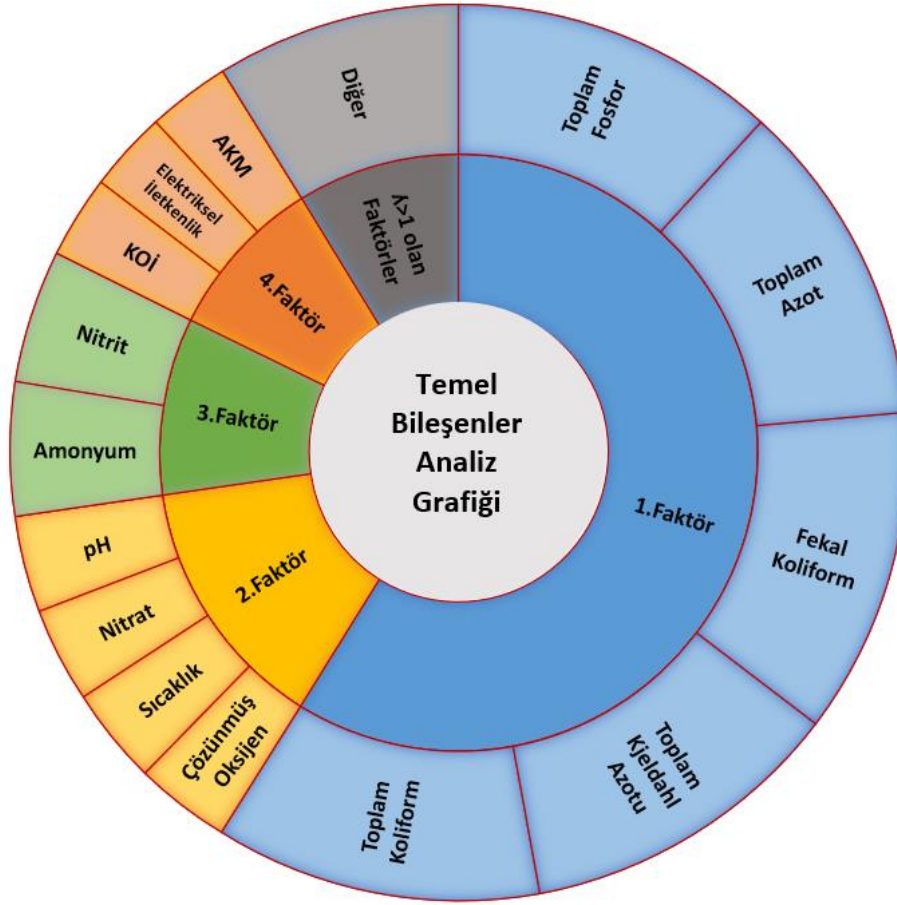
Su kalitesini değerlendirmek amacıyla temel bileşenler analizi sıklıkla kullanılmaktadır (Dalal ve ark., 2010; Ji ve ark., 2016). Su kalitesini etkileyen parametre gruplarını tanımlamak için 14 değişken verisi ile SPSS 26 programı üzerinde temel bileşenler analizi gerçekleştirilmiştir (Costa ve ark., 2020). Temel bileşenlerin özdeğerlerinin gösterim grafiği (scree plot) Şekil 5’de verilmiştir.



**Şekil 5.** Bileşenlerin özdeğer gösterimi

Ölçeğin kaç faktör olduğunu ve hangi parametrelerin hangi faktör düzeyinde olduklarını göstermek için Döndürülmüş Bileşen Matrisi (Rotated Component Matrix) uygulanmıştır. Temel Bileşenler Analizine göre özdeğeri 1'den büyük olan bileşenler seçilmiştir (Costa ve ark., 2020). Verilerin indirgenmesi ve ilişkili değişkenlerin ilişkisi olmayan ve daha az boyutlu yeni faktörlerin üretilmesi temel bileşenler analizinin iki temel amacıdır (Dalkıran ve ark., 2020). Analiz sonuçlarına göre, özdeğeri 1'den büyük dört faktör olduğu tespit edilmiştir.

Temel bileşenler analizinin özet gösterim grafiği (güneş ışığı şeklinde) Şekil 6'da, çalışmadan elde edilen tahminlenmiş ve döndürülmüş faktörlerin özdeğerleri, toplam ve kümülatif varyans sonuçlarının gösterimi Tablo 3'de ifade edilmiştir. İlk faktör (özdeğeri 8,272) varyansın % 59,088'ini açıklarken, ikinci faktör (özdeğeri 1,944) varyansın % 13,886'ini, üçüncü faktör (özdeğeri 1,353) varyansın % 9,663'ünü, dördüncü faktör (özdeğeri 1,241) varyansın % 8,865 olarak açıklamaktadır. Diğer ifade ile sadece birinci Faktör %59, ilk iki faktör %73, ilk üç faktör %83 ve özdeğeri 1'den büyük dört faktör toplam varyansın %91,5'ini açıklayabildiği tespit edilmiştir. Diğer olarak ifade edilen kısım ise özdeğeri ( $\lambda$ ) 1'den küçük olan dolayısıyla analiz sonuçlarını yorumlarken dikkate alınmayan faktörlerdir. Varyans değerlerine bakıldığında, ilk faktörün diğer faktörlere göre oldukça baskın özellikler taşıdığı görülmektedir.



Şekil 6. Temel bileşenlerin özet gösterimi

Tablo 3. Toplam varyans açıklaması

TOPLAM VARYANS									
Faktör	Başlangıç Özdeğerler			Yüklenen Faktörlerin Karelerinin Dağılımı			Döndürülen Faktörlerin Karelerinin Dağılımı		
	Toplam	% Varyans	Kümülatif %	Toplam	% Varyans	Kümülatif %	Toplam	% Varyans	Kümülatif %
1	8,272	59,088	59,088	8,272	59,088	59,088	4,422	31,585	31,585
2	1,944	13,886	72,974	1,944	13,886	72,974	3,294	23,531	55,116
3	1,353	9,663	82,637	1,353	9,663	82,637	2,586	18,469	73,585
4	1,241	8,865	91,502	1,241	8,865	91,502	2,508	17,917	91,502

Temel Bileşenler Analiz Metodu (Principal Component Analysis).

Temel bileşen verilerine “Varimax with Kaiser Normalization” döndürme metodu uygulanmıştır. 4 farklı faktörde değişkenlerin hangi faktörle ilişki içerisinde olduğunun gösterimi sağlanmıştır. Analizi sonucunda oluşan kümedeki varyans faktör yükleri ve varyans faktörlerinin toplam varyans içindeki etkisi Tablo 4’de ifade edilmiştir.

**Tablo 4.** Döndürülmüş Bileşen Matrisi

Döndürülmüş Bileşen Matrisi				
Değişkenler	Faktör			
	% 59,088	% 13,886	% 9,663	% 8,865
	1	2	3	4
Toplam Koliform	<b>,926</b>			
Toplam Kjehldal Azotu	<b>,880</b>			
Fekal Koliform	<b>,836</b>			
Toplam Azot	<b>,790</b>			
Toplam Fosfor	<b>,637</b>			
pH	<b>-,841</b>			
Nitrat	<b>,826</b>			
Sıcaklık	<b>,700</b>			
Çözünmüş Oksijen	<b>-,675</b>			
Nitrit		<b>,907</b>		
Amonyum		<b>,796</b>		
AKM			<b>,966</b>	
Elektriksel İletkenlik			<b>,811</b>	
KOİ			<b>,587</b>	
Temel Bileşenler Analiz Metodu (Principal Component Analysis). Döndürme Metodu: Varimax with Kaiser Normalization.				

Faktör sayılarına ve varyans açıklamalarına bakıldığında sadece birinci faktörün toplam bazda %59,088'ini açıkladığı görülmektedir. 0,75'den büyük olan faktör yükü güçlü, 0,50 – 0,75 arası faktör yükü orta, 0,5'den küçük olan faktör yükü ise zayıf olacak şekilde kategorize edilmiştir (Liu ve ark., 2003).

I. Faktörde; Toplam Koliform pozitif güçlü, Toplam Kjehldal Azotu pozitif güçlü, Fekal Koliform pozitif güçlü, Toplam Azot pozitif güçlü ve Toplam Fosfor orta güçlü yük değeri bulunmaktadır.

II. Faktörde; pH negatif güçlü, Nitrat pozitif güçlü, Sıcaklık orta güçlü ve Çözünmüş Oksijen negatif orta güçlü yük değeri bulunmaktadır.

III. Faktörde; Nitrit pozitif güçlü ve Amonyum pozitif güçlü yük değeri bulunmaktadır.

IV. Faktörde; AKM pozitif güçlü ve Elektriksel İletkenlik pozitif güçlü, KOİ orta güçlü yük değeri bulunmaktadır.

Döndürülmüş bileşen matrisine göre, Belek ÖÇKB'ndeki akarsuların kalite değişimlerini izlemede ve kirletici kaynaklarını yorumlamada TKN, TP, TN, Toplam ve Fekal Koliform öncelikli parametreler olarak görülmektedir. Aynı zamanda sudaki azot modifikasyonları nitrit, nitrat ve amonyum değişimleri de su kalitesini izlemede yardımcı parametreler olarak belirlenmiştir. Bölgedeki 15 yıllık analiz verisine göre akarsuların kalite sınıflarını belirleyen başlıca parametreler TN ve TP olurken, istatistiksel olarak belirlenen başlıca kalite parametreleri de aynı sonuçları desteklemiştir.

Konu ile ilgili literatür incelendiğinde; (2020) Ewaid ve ark. tarafından yapılan çalışmada, Irak'da yer alan bazı derelerin içme suyu olarak kullanılabilmesi amacı ile temel bileşenler analiz tekniği uygulanmış, neticesinde 16 değişken parametresi için üç temel bileşen tespit edilmiş, en önemli parametrelerin ise, toplam çözünmüş katı madde, çözünmüş oksijen, KOİ, sertlik, klorür ve toplam koliform olduğu tespit edilmiştir. (2020) Nguyen tarafından gerçekleştirilen araştırmada ise, Vietnam'daki Hau Nehri üzerinde yer alan sekiz istasyondan toplanan su kalitesi izleme verilerinin değerlendirilebilmesi için temel bileşenler analizi uygulanmış ve en etkili kirleticilerin askıda katı madde, nitrat, fosfat ve toplam koliform parametreleri olduğu görülmüştür. Bu iki çalışmanın yaptığımız makale çalışması ile toplam koliform parametresi açısından benzerlik gösterdiği görülmektedir. (2022) Cho ve ark. tarafından yapılan çalışmada, Güney Kore'deki Imjin Nehri yüzey suyu kalitesinin araştırılması için yedi istasyonda 12 değişken parametreye temel bileşenler analizi uygulanmış ve su kalitesini etkileyen en önemli parametrelerin sıcaklık, elektriksel iletkenlik, BOİ, KOİ, toplam azot, toplam fosfor ve amonyum azotu olduğu tespit edilmiştir. Bahsedilen makalenin de, toplam azot ve toplam fosfor parametrelerine önem atfetmesi açısından yapmış olduğumuz çalışma ile benzerlik gösterdiği görülmektedir. Ayrıca bu çalışmada kümeleme analizi de gerçekleştirilmiş temel kirleticilerin evsel atıksular, endüstriyel atıksular ve tarımsal faaliyetler olduğu belirlenmiş olup bu açılardan da yaptığımız çalışma ile sonuçların benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

DeneySEL ve çok değişkenli istatistiksel yaklaşımların kullanıldığı bu çalışmada, bir izleme çalışmasıyla, ülkemizde yer alan ÖÇKB'lerinde yer alan akarsuların, civarında bulunan antropojenik etkiler ile birlikte su kalitesi durumunun incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevede Ülkemizin en hassas bölgelerinden olan Belek ÖÇKB dahilindeki beş akarsuyun 2005 – 2020 dönemi uzun dönem su kalitesi verileri ile Yerüstü Su Kalitesi çerçevesinde kalite sınıfları belirlenmiş, akarsuların kirlilik kaynaklarının belirlenmesi için temel bileşenler analizi uygulanmış ve benzerlik gösteren izleme istasyonlarının gruplara ayrılması için hiyerarşik kümeleme analiz metodu uygulanmıştır.

Yerüstü Su Kalitesine göre yapılan kalite sınıflandırması ve Hiyerarşik Kümeleme Analizine göre oluşan kümeler neticesinde genel su kalitesi; Acısu Deresi II. Sınıf (İyi Kalite), Köprüçay Deresi I. Sınıf (Çok İyi Kalite), Sarısu Deresi I. Sınıf (Çok İyi Kalite), Kömürcüler Deresi II. Sınıf (İyi Kalite) ve Ilica Deresi III. Sınıf (Orta Kalite) olarak belirlenmiştir. Akarsu verileri karşılaştırıldığında ise fiziko-kimyasal parametreler açısından her bir akarsuyun kendi içinde benzer özellikler gösterdiği ve akarsu yolu boyunca su kalitesinde büyük farklılık görülmediği ancak yerleşim yerlerinin ve turizm tesislerinin yoğun bulunduğu istasyon noktalarında koliform parametre değerlerinin daha yüksek olduğu görülmüştür.

Temel Bileşenler Analizinden elde edilen sonuçlar, su kalitesini etkileyen parametrelerin temeline bakıldığında organik kirlilik (evsel atıklar), tarımsal akışla gelen nütrientler ile ilgili olduğunu göstermektedir. Gerçekleştirilen arazi çalışmaları neticesinde, bölgede en baskın kirletici antropojen kaynaklar, turizm tesisleri ve tarımsal faaliyetler olarak belirlenmiştir. Özellikle Acısu Deresi'nde bu kaynaklara ek olarak balıkçılık faaliyetlerinin de su kaynakları üzerinde önemli bir baskısı olduğu görülmüştür. Böylece hem yapılan çok değişkenli istatistiksel yöntemlerin hem de saha gözlemlerinin örtüştüğü belirlenmiştir. Evsel kaynaklı kirleticilerin kontrol altına alınabilmesi için tüm kirletici unsurların atıksu altyapısına bağlı olması gerekmektedir. Tarımsal kaynaklı kirleticiler için ise, tarım faaliyetlerindeki gübre kullanımları kontrol edilmeli ayrıca modern sulama teknikleri de uygulanmalıdır. Belek ÖÇKB dahilinde yer alan tüm akarsuların su kalitesinin düzenli ve sürekli olarak izlenmesi önem taşımaktadır. Genel manada iyi su kalitesinde olan Belek ÖÇKB'nin ilerleyen dönemde artması muhtemel nüfus ve turizm baskısı ile karşı karşıya kalması kaçınılmaz olduğundan kirlenmeye neden olan unsurların yetkili idareler tarafından alınacak ilave tedbirler sonucunda, daha iyi su kalitesi durumuna ulaşması gerektiği öngörülmektedir.

Su kalitesi izleme süreci uzun sürmesi, izleme istasyonlarının ve değişkenlerin fazla olması sebebiyle bu sayıları en aza indirip, toplanan verilerin en verimli şekilde kullanıp su kalitesinin korunması amacıyla iyi tasarlanan su kalitesi izleme planı kullanılmalıdır. Özellikle bu çalışma sonucunda belirlenen öncelikli izlenmesi gereken parametreler TKN, TP, TN, Toplam Koliform ve Fekal Koliform olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ışığında, farklı izleme istasyonlarından elde edilen su kalitesi verilerine çok değişkenli istatistiksel metotların uygulanmasının, akarsuların su kalitesi değişimlerini gösteren izleme parametrelerinin seçiminde faydalı olabileceği düşünülmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen "Özel Çevre Koruma Bölgelerinde Su Kalitesinin ve Atıksu Arıtma Tesislerinin Verimliliğinin İzlenmesi Projesi" kapsamında elde edilmiştir. Verilerin temin edildiği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na teşekkürler.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Akin, B., and Kirmizigul, O. (2007). Heavy metal contamination in surface sediments of Gokçekaya Dam Lake, Eskişehir, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, (76):402.
- Akin, B., Atici, T., Katircioglu, H., and Keskin, F. (2011). Investigation of water quality on Gokcekaya dam lake using multivariate statistical analysis, in Eskişehir, Turkey. *Environmental Earth Sciences*, (63):1251–1261.
- Alam, A., and Singh, A. (2023). Groundwater quality assessment using SPSS based on multivariate statistics and water quality index of Gaya, Bihar (India). *Environmental Monitoring and Assessment*, (195): 687.
- Altunyüzük, A.İ. (2022). *Coğrafi Özellikleri Yönüyle Belek'te (Antalya) Kongre Turizmi*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Anabilim Dalı, Bursa.
- Álvarez-Rogel, J.O., Jiménez-Cárceles, F.J., and Nicolás, C.E. (2006). Phosphorus and nitrogen content in the water of a coastal wetland in the Mar Menor lagoon: relationships with effluents from urban and agricultural areas. *Water Air and Soil Pollution*, 173(1-4): 21-38.
- Arıman, S., and Koyuncu, S. (2019). Su Kirliliği Açısından Hassas Alanların İzlenmesi: Kızılırmak Deltası-Balık Gölü. *Journal of Engineering Sciences and Design*, 7(4), 705 – 714.
- Arslan, O. (2008). Su Kalitesi verilerinin CBS ile Çok Değişkenli İstatistik Analizi. *HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, (2):99.
- Aydın Uncumusaoğlu, A., and Mutlu, E. (2021). Water Quality Assessment in Karaboğaz Stream Basin (Turkey) from a Multi-Statistical Perspective. *Polish Journal of Environmental Studies*, 30(5), 4747-4759.
- Bakır, S. (2019). *Türkiye'de Küreselleşme Süreci ve Korunan Alanlar Üzerine Etkisi: Datça Bozburun Özel Çevre Koruma Bölgesi*. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı – Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, (2021). *Çevresel Göstergeler (2020)*: 77, 155-156.
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevresel Etki Değerlendirmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, (2021), *Türkiye Çevre Durum Raporu*, (6):228.
- Chawishborwornwong, C., Luanwuthi, S., Umpuch C., and Puchongkawarin, C. (2024). Bootstrap approach for quantifying the uncertainty in modeling of the water quality index using principal component analysis and artificial intelligence. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 23(1):17-33.
- Cho, Y-C., Choi, H., Lee, M-G., Kim, S-H., and Im, J-K. (2022). Identification and Apportionment of Potential Pollution Sources Using Multivariate Statistical Techniques and APCS-MLR Model to Assess Surface Water Quality in Imjin River Watershed, South Korea. *Water*, 14(5):793.
- Dalal, S.G., Shirodkar, P.V., Jagtap, T.G., Naik, B.G., and Rao, G.S. (2010). Evaluation of significant sources influencing the variation of water quality of Kandla Creek, Gulf of Katchchh, using PCA. *Environmental Monitoring and Assessment*, (16): 49–56.
- Dalkıran, N., Karacaoğlu, D., Taş, D., Karabayırlı, G., Atak, S., Koşucu, T.N.A., Coşkun, F., ve Akay, E. (2020). Mustafakemalpaşa Çayı'nın (Bursa) Su Kalitesinin Faktör Analizi Kullanılarak Değerlendirilmesi, *Acta Aquatica Turcica*, 16(1), 124-137.
- de Andrade Costa, D., Soares de Azevedo, J.P., dos Santos, M.A., and dos Santos Facchetti Vinhaes Assumpção, R. (2020). Water quality assessment based on multivariate statistics and water quality index of a strategic river in the Brazilian Atlantic Forest. *Scientific Reports*, 10.

- Egbueri, J.C. (2022). Incorporation of information entropy theory, artificial neural network, and soft computing models in the development of integrated industrial water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*, (194): 693.
- Einax, J.W., Zwanziger, H.W., and Geiss, S. (1997). *Chemometrics in Environmental Analysis*. Weinheim: Wiley ISBN: 3-527-28772-8.
- Ewaid, S.H., Abed, S.A., Al-Ansari, N., and Salih, R.M. (2020). Development and Evaluation of a Water Quality Index for the Iraqi Rivers, *Hydrology*, 7(3): 67.
- Fan, X., Cui, B., Zhao, H., Zhang, Z., and Zhang, H. (2010). Assessment of river water quality in Pearl River Delta using multivariate statistical techniques. *Procedia Environmental Sciences*, (2): 1220-1234.
- Gad, M., Saleh, A.H., Hussein, H., Farouk, H., and Elsayed, S. (2022). Appraisal of surface water quality of Nile river using water quality indices, spectral signature and multivariate modeling. *Water*, 14(7): 1131.
- Gare, A. (2017). From Sustainable Development to Ecological Civilization: Winning the War for Survival. Cosmos and History. *The Journal of Natural and Social Philosophy*, 13(3), 130-153.
- Haghnazar, H., Hudson-Edwards, K.A., Kumar, V., Pourakbar, M., Mahdavianpour, M., and Aghayani, E. (2021). Potentially toxic elements contamination in surface sediment and indigenous aquatic macrophytes of the Bahmanshir River, Iran: Appraisal of phytoremediation capability. *Chemosphere*, 285.
- Ibrahim, A., Ismail, A., Juahir, H., Iliyasu, A.B., Wailare, B.T., Mukhtar, M., and Aminu, H. (2023). Water quality modelling using principal component analysis and artificial neural network. *Marine Pollution Bulletin*, (187):114493.
- Ji, X., Dahlgren, R.A., and Zhang, M. (2016). Comparison of seven water quality assessment methods for the characterization and management of highly impaired river systems. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(15).
- Kalaycı, Ş. (2016). *SPSS Uygulamalı Çok Değişkenli İstatistik Teknikleri*, 7. Baskı. Asil Yayın Dağıtım, Ankara.
- Kazi, T.G., Arain, M.B., Jamali, M.K., Jalbani, N., Afridi, H.I., Sarfraz, R.A., Baig, J.A., and Shah, A.Q. (2009). Assessment of water quality of polluted lake using multivariate statistical techniques: a case study. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, (72): 301–309.
- Kılıç, E. (2017), *Asi Havzasındaki Su Kalitesinin Çok Değişkenli İstatiksel Yöntemler Kullanılarak Değerlendirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
- Kim, J.O., and Mueller, C.W. (1987). *Introduction to factor analysis: What it is and how to do it*. Quantitative applications in the social sciences series, Newbury Park: Sage University Press.
- Köse, E., Tokatlı, C., and Çiçek, A. (2014). Monitoring stream water quality: a statistical evaluation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(5):1637–1647.
- Köse, E., Emiroğlu, Ö., Çiçek, A., Tokatlı, C., Başkurt, S., and Aksu, S. (2018). Sediment quality assessment in Porsuk Stream Basin (Turkey) from a multi-statistical perspective. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(2): 747–752.
- Kowalkowski, T., Zbytnewski, R., Szpejna, J., and Buszewski, B. (2006). Application of Chemometrics in River Water Classification. *Water Research*, (40):744-752.
- Kwon, H.G., and Jo, C.D. (2023). Water quality assessment of the Nam River, Korea, using multivariate statistical analysis and WQI. *International Journal of Environmental Science and Technology*, (20): 2487–2502.
- Lattin, J., Carroll, D., and Green, P. (2003). *Analyzing Multivariate Data*. New York: Duxbury.
- Liu, C.W., Lin, K.H., and Kuo, Y.M. (2003). Application of factor analysis in the assessment of groundwater quality in a blackfoot disease area in Taiwan. *Science of the Total Environment*, 313(1): 77-89.
- Mahloch, J.L.E. (1974). Multivariate Techniques for Water Quality Analysis. *Journal of The Environmental Engineering Division*, (100):1119-1132.
- Mancini, L., Formichetti, P., Anselmo, A., Tancion, L., Marchini, S., and Sorace, A. (2005). Biological quality of running waters in protected areas: the influence of size and land use. *Biodiversity and Conservation*, (14): 351–364.
- McKenna, J.E. (2003). An enhanced cluster analysis program with bootstrap significance testing for ecological community analysis. *Environmental Modelling and Software*, 18(3): 205-220.
- Monica, N., and Choi, K. (2016). Temporal and spatial analysis of water quality in Saemangeum watershed using multivariate statistical techniques. *Paddy and Water Environment*, 14(1): 3-17.



- Muangthong, S., and Shrestha, S. (2015). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: case study of the Nampong River and Songkhram River, Thailand. *Environmental monitoring and assessment*, 187(9): 1-12.
- Mutlu, E., and Aydın Uncumusaoğlu, A. (2022). Assessment of spatial and temporal water pollution patterns in Aydos River Turkey by using water quality index and multivariate statistical methods. *Desalination and Water Treatment*, (246): 196–211.
- Nguyen, T.G. (2020). Evaluating Current Water Quality Monitoring System on Hau River, Mekong Delta, Vietnam Using Multivariate Statistical Techniques. *Applied Environmental Research*, 42(1):2.
- Oke, A.O., and Sangodoyin, A.Y. (2015). Evaluation of surface water quality characteristics in Ogun watershed of south western Nigeria using principal component analysis. *Journal of Science and Technology* (Ghana), 35(1): 89-101.
- Otto, M. (1998). *Multivariate methods*. In: Kellner, R., Mermet, J. M., Otto, M., and Widmer, H.M. (Eds.), Analytical chemistry. Weinheim: Wiley-VCH.
- Özdamar, K. (1999). *Paket Programlar ile İstatiksel Veri Analizi-2*. İkinci Baskı, Kaan Kitabevi, Eskişehir.
- Pan, J. (2015). Ecological Civilization: A New Development Paradigm. *China Economist*, 10(4), 44.
- Pejman, A.H., Bidhendi, G.N., Karbassi, A.R., Mehrdadi, N., and Bidhendi, M.E. (2009). Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 6(3): 467-476.
- Prendergast, J.R., Quinn, R.M., Lawton, J.H., Eversham, B.C., and Gibbons, D.W. (1993). Rare species, the coincidence of diversity hotspots and conservation strategies. *Nature*, (365): 335–337.
- Pressey, R.L., Humphries, C.J., Margules, C.R., Vane-Wright, R.I., and Williams, P.H. (1993). Beyond opportunism: key principles for systematic reserve selection. *Trends in Ecology and Evolution*, (8):124–128.
- Reena, M.V., Amalraj, A., Ajitha, R., and Louis, C.N. (2022). Cluster analysis of water quality parameters of water samples from Colachel to Melmidalam in Kanyakumari district. *International Journal of Science and Research Archive*, 7(2), 269–285.
- Santos, R.D.M., Warner, G.S., and Scateno, F. (2003). Multivariate Analysis of Water Quality and Physical Characteristics of Selected Watershed in Puerto Rico. *Journal of The American Water Resources Association*, 39(4):329-839.
- Schmitt, E.A. (2016). *The Atmosphere of an Ecological Civilization: A Study of Ideology, Perception and Action in Chengdu, China*. A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Anthropology, The Chinese University of Hong Kong.
- Şener, Ş., ve Şener, E. (2020). Belek Özel Çevre Koruma Alanı Akarsularının Su Kalitelerinin ve Kirlenmelerinin Değerlendirilmesi. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 6(2): 100-110.
- Shrestha, S., and Kazama, F. (2007). Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling and Software*, 22(4): 464-475.
- Simberloff, D.S., and Abele, L.G. (1982). Refuge design and island biogeographic theory. *The American Naturalist*, (120): 41–50.
- Şimşek, A., Türkten, H., ve Bakan, G. (2022). Su Kalite İndeksi ve İstatistiksel Analiz Kullanılarak Orta Karadeniz Bölgesi Kızılırmak ve Yeşilirmak Nehirleri Su Kalitesinin Değerlendirilmesi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 645-662.
- Singh, K.P., Malik, A., Mohan, D., and Sinha, S. (2004). Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India)—a case study. *Water research*, 38(18): 3980-3992.
- Soulé, M.E. (1991). Conservation: tactics for a constant crisis. *Science*, (253): 744–750.
- Tokatlı, C., ve Helvacıoğlu, İ.A. (2019). Tarımsal Kirliliğin Trakya Bölgesi Sucul Habitatları Üzerine Etkilerinin Temel Bileşen Analizi Kullanılarak Değerlendirilmesi: Makro ve Mikro Elementler – Ağır Metaller. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*, 17(2): 143.
- Tripathi M., and Singal S.K. (2019). Use of principal component analysis for parameter selection for development of a novel water quality index: a case study of river Ganga India. *Ecological Indicators*, (96):430–436.
- Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu – Marmara Araştırma Merkezi – Çevre ve Temiz Üretim Enstitüsü, *Havza Koruma Eylem Planlarının Hazırlanması Projesi Antalya Havzası*, (2013): 55, 166-241.

- TVKGM (2023), Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü, *Belek Özel Çevre Koruma Bölgesi Yönetim Planı (2023-2027)*.
- URL-1: Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Özel Çevre Koruma Bölgeleri, <https://ockb.csb.gov.tr/ock-bolgeleri-harita-i-55> , (Erişim Tarihi: 06.02.2024).
- URL-2 TÜİK 2023 yılı Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları [https://www.tuik.gov.tr/media/announcements/Favori\\_Tablolar.xlsx](https://www.tuik.gov.tr/media/announcements/Favori_Tablolar.xlsx) , (Erişim Tarihi: 13.02.2024)
- URL-3: Belek Turizm Yatırımcıları Ortak Girişimi, Belek Ruhu <https://www.visitbelek.com/tr/about-belek/the-spirit-of-belek/history> , (Erişim Tarihi: 06.02.2024)
- Ustaoglu, F., Tepe, Y., ve Taş, B. (2019). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecological Indicator*, 113.
- Üstün Odabaşı, S., Ceylan, Z., Şentürk, İ., Akbal, F., Bakan, G., and Büyükgüngör, H. (2022). Investigation of spatial and seasonal variation of water quality along the mid-Black Sea coast (from Sinop to Ordu) of Turkey, by multivariate statistical techniques. *Regional Studies in Marine Science*, 50.
- Wu, J.Y. (2005). Assessing surface water quality of the Yangtze Estuary with genotoxicity data. *Marine Pollution Bulletin*, 50(12): 1661-1667.
- Yang, H.J., Shen, Z.M., Zhang, J.P., and Wang, W.H. (2007). Water quality characteristics along the course of the Huangpu River (China). *Journal of Environmental Sciences*, 19(10): 1193-1198.
- Yerel, S., and Ankara, H. (2011). Application of multivariate statistical techniques in the assessment of water quality in Sakarya River, Turkey. *Journal of the Geological Society of India*, 78(6): 1-5.
- Yolcu, İ.D. (2012). *Bursa Nilüfer Çayı Su Kalitesi Parametrelerinin İstatistiksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi*. Doktora Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.
- YSKY (2021). *Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği Ek-2 Tablo-5*. 16.06.2021 tarihli ve 31513 sayılı Resmi Gazete.
- Zhang, D., Ni, G., Cong, Z., Chen, T., and Zhang, T. (2013). Statistical interpretation of the daily variation of urban water consumption in Beijing, China. *Hydrological Sciences Journal*, 59(1): 181-192.

## Ordu İli İçme Suyu Kaynaklarında ve Şebeke Sularındaki Metal(oid) Düzeylerinin Belirlenmesi

Derya BOSTANCI<sup>1</sup> , Seda KONTAŞ YALÇINKAYA<sup>2\*</sup> , Serdar YEDİER<sup>3</sup> ,  
Evren TUNCA<sup>4</sup> , Salih ALKAN<sup>5</sup> 

### Öz

Bu çalışmada Ordu ilinin şebeke suları (Altınordu, Perşembe, Ünye) ve içme suyu kaynaklarındaki (Melet Irmağı, Kacalı Deresi, Cevizdere) arsenik, alüminyum, kadmiyum, bakır, demir, manganez, nikel, kurşun ve çinko birikim düzeylerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Su numuneleri akarsuların su arıtma tesisine giriş bölgelerinden ve şebekedeki musluk sularından mevsimsel olarak ilgili istasyonları temsil edecek şekilde toplanmıştır. Metal(oid) analizleri induktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi (ICP-MS) ile tayin edilmiş ve mevsimsel olarak karşılaştırılmıştır. İlkbahar ve kış mevsimlerinde Ünye şebeke suyunda bakır konsantrasyonunun uluslararası limitlerin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Çalışmada incelenen tüm içme suyu kaynakları ve şebeke sularındaki alüminyum, demir, manganez ve çinko konsantrasyonları Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'nün limitlerini aşmamış olsa da bazı mevsimlerde konsantrasyonlarının arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, çalışmadaki su numunelerinde araştırılan tüm metal(oid)lerin konsantrasyonlarının ulusal standartların ilgili sınırları içerisinde olduğu belirlenmiştir. Ancak su arıtımı yeterli seviyede olsa da şebeke sistemlerinde istenmeyen bazı olumsuz durumlardan kaynaklı şebeke sularında metal(oid)lerin varlığı hala söz konusudur. Bunun için içme suyu kalitesinin ve şebeke hattının düzenli bir şekilde takibinin yapılması, ek olarak şebeke suyu içerisindeki metal varlığının giderilmesine yönelik tedbirler alınması da önem arz etmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metal, Cevizdere, İçme suyu, Kacalı Deresi, Melet Irmağı, Şebeke suyu.

## Determination of Metal(oid) Levels in Drinking Water Resources and Tap Waters in Ordu Province

### Abstract

In this study, it was aimed to determine the accumulation levels of arsenic, aluminum, cadmium, copper, iron, manganese, nickel, lead, and zinc in the tap waters (Altınordu, Çarşamba, Ünye) and drinking water resources (Melet River, Kacalı Stream, Cevizdere) of Ordu Province. The water samples were collected seasonally from the entrance areas of the rivers to the water treatment plant and from the tap water in the distribution network, representing the relevant stations. Metal(oid) analyzes were determined by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) and compared seasonally. It was determined that the copper concentration in Ünye tap water in spring and winter was above international limits. Although the concentrations of aluminum, iron, manganese, and zinc in all drinking water sources and tap water examined in the study did not exceed the limits of the World Health Organization (WHO), it was determined that their concentrations increased in some seasons. In addition, it was determined that the concentrations of all metal(oids) investigated in the water samples in the study were within the relevant limits of national standards. However, even if the water treatment is at a sufficient level, the presence of metal(oids) in the network waters is still possible due to some undesirable negative situations in the network systems. For this purpose, it is important to regularly monitor the drinking water quality and the network line, and also take measures to eliminate the presence of metal in the network water.

**Keywords:** Heavy metal, Cevizdere, Drinking water, Kacalı Stream, Melet River, Tap water.

<sup>1,3</sup>Ordu Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Ordu, Türkiye, deryabostanci@gmail.com, serdar7er@gmail.com

<sup>2</sup>Ordu Üniversitesi, Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, Balıkçılık Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Ordu, Türkiye, sedakontasyalcinkaya@gmail.com

<sup>4</sup>Ordu Üniversitesi, Fatsa Deniz Bilimleri Fakültesi, Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Mühendisliği Bölümü, Ordu, Türkiye, evren\_tunca@yahoo.com

<sup>5</sup>Ordu Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Ordu, Türkiye, salihalkan@gmail.com

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 13.02.2024

Kabul/Accepted: 22.04.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Suyun evrende bulunan en değerli doğal kaynak olduğu ve susuz bir yaşamın mümkün olmadığı aşikardır. Yıllar içerisinde insan popülasyonunun artmasıyla beraber kaliteli içme suyuna olan talep de artmıştır. Sanayileşme ve kentleşmeyle birlikte, metaloid ve ağır metallerin suya karışması su kirliliğini de arttırmıştır. Ayrıca, bu kirliliğin insanlar ve diğer biyolojik sistemler üzerindeki toksik etkileri göz önüne alındığında konu endişe verici bir hal almaktadır. Farklı araştırmacılar da dünyanın farklı bölgelerinde bu konuyla ilgili çalışmalar gerçekleştirmişlerdir (Chakrabarty ve Sarma, 2011; Mohod ve Dhote, 2013).

Dünyada olduğu gibi, Türkiye’de de içme suyu kaynaklarının korunması ve temiz içme suyu temini sorunlarıyla karşı karşıya kalınmaktadır. Türkiye’nin birçok bölgesinde bulunan su kaynaklarının yaygın şekilde kirlendiğine dair çalışmalar sunulmuştur (Sönmez ve ark., 2012; Yılmaz ve ark., 2014; Kalıpci ve ark., 2017a; Gümüş, 2021). Özellikle içme suyu olarak kullanılan doğal su kaynaklarının durumu hakkında hayati önem taşıyan verilerin elde edilmesi ve su kaynaklarının durumlarının izlenmesi önemlidir. Gelişen analiz teknikleriyle günümüzde bu bilgilere ulaşmak kolaylaşmış ve dikkate değer ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak içme suyu kaynağı olarak yararlanılan büyük havzalar kadar küçük havzaların da değerlendirilmesi gerekmektedir. Ordu ilinin yüksek su kaynağı potansiyeline rağmen, bazı durumlar su kaynaklarını zaman zaman tehdit edebilmektedir.

Melet Irmağı’nda daha önce bazı balık türleri üzerinde gerçekleştirilen çalışmalarda arsenik ve diğer ağır metallere bağlı etkiler bildirilmiştir (Kontaş ve Bostancı, 2020a; 2020b; 2020c). Ordu ili içme suyu kaynakları ile ilgili az sayıda çalışma bulunmaktadır (Kaya ve ark., 2021; Dağlıoğlu, 2023). Birçok araştırmacı Ordu ilinin farklı su kaynaklarında çeşitli çalışmalar gerçekleştirmiş ve çok azı ağır metal kirliliğiyle ilgili çalışmalar üzerinde yoğunlaşmıştır (Ustaoğlu ve ark., 2020; Kurucu ve Bostancı, 2022; Tepe ve ark., 2022).

Tüm organizmalar ve çevre için gerekli olan elementler belirli bir düzeyin üzerine çıktığında toksik etki gösterebilmektedir (Mohod ve Dhote, 2013). Metal(oid)ler besin zinciriyle birlikte üst seviyelere taşınabilirler (Chakrabarty ve Sarma, 2011). Bu nedenle, en fazla ihtiyaç duyduğumuz doğal su kaynakları ve içme sularındaki metal(oid) ve ağır metal düzeylerinin tespiti önemlidir.

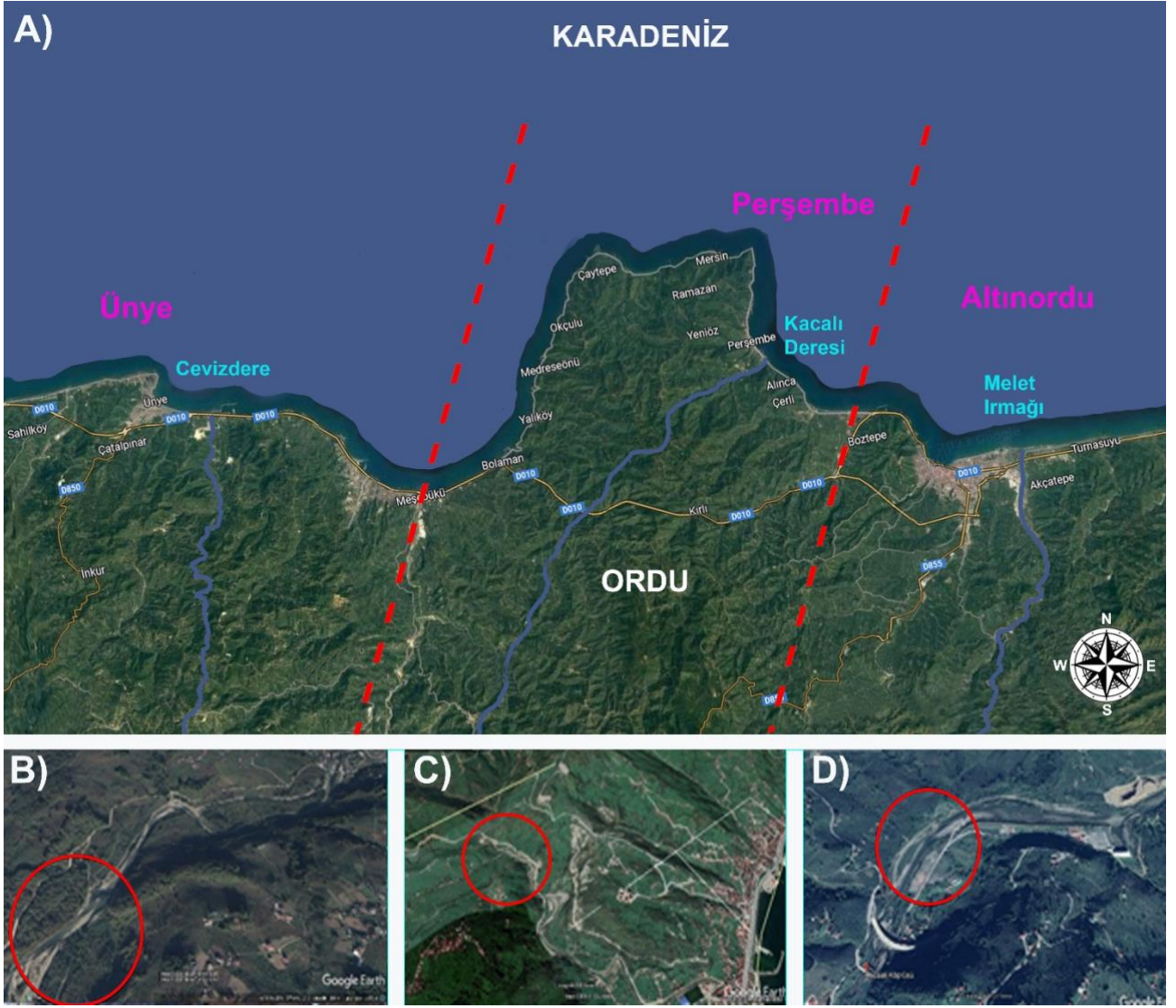
Ordu'nun önemli su kaynaklarından biri olan Melet Irmağı, 40°18' - 41°08' kuzey paralelleri ile 36°52' - 38°12' doğu meridyenleri arasında bulunan, 161 km uzunluğunda bir akarsudur (Anonim, 2004). Irmak çevresinde tarım ve sanayi alanları bulunmaktadır. Ayrıca nehrin jeolojik konumu, zengin maden yatakları ve evsel atıklardan kaynaklanan ağır metallerin oluşumu, fındık tarımı ve kullanılan tarım ilaçları nehrin başlıca kirlilik kaynaklarıdır. Örnekleme noktalarının üst bölgesinde ise madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü Kabadüz ilçesi bulunmaktadır (Kontaş ve Bostancı,

2020a). Ordu ilinin Perşembe ilçesinde bulunan Kacalı Deresi, 41°03'27.45'' kuzey ve 37°46'45.63'' doğu koordinatlarındadır. Kacalı Deresi fitocoğrafik bakımdan Avrupa-Sibirya floristik bölgesi içerisinde (Davis, 1965; Bayrak Özbucak ve Taş, 2016). Perşembe ilçesinin içme suyu kaynağı olan Kacalı Deresi yaklaşık 9,5 km uzunluğundadır (DSİ, 2014). Dere çevresinde tarım alanları yer almaktadır ve hayvancılık faaliyetleri de sürdürülmektedir. Dere boyunca yerleşim alanları da bulunmaktadır. Canik dağlarından doğan Cevizdere, Karadeniz'e dökülür ve uzunluğu 57,45 km'dir. Ordu ilinin Ünye ilçesinde yer alan bir deredir ve ilçenin içme suyu ihtiyacını karşılamaktadır. Aynı zamanda tarım, hayvancılık ve arıcılık faaliyetlerinde de kullanılmaktadır. Cevizdere'nin etrafında kentsel yerleşim bölgeleri bulunmaktadır. Ayrıca, Cevizdere vadisi içerisinde Ünye Çimento Fabrikası ve birçok işletme de faaliyetlerini sürdürmektedir (DSİ, 2001).

Su kalitesinin düzenli olarak test edilmesi, güvenli ve güvenilir bir su kaynağı sağlamanın önemli bir adımıdır (Borah ve ark., 2009; Chakrabarty ve Sarma, 2011). Bu çalışmada, Ordu ili içme suyu kaynaklarının gelecekteki güvenli kullanımı için güvenilir bir veri sağlanması ve sucul sistemlerin iyileştirilmesi için gerekli politikaların uygulanmasına yardımcı olunması amaçlanmıştır. Bu çalışmada, üç farklı içme suyu kaynağı (Melet Irmağı, Kacalı Deresi, Cevizdere) ve şebeke sularında (Altınordu, Perşembe, Ünye) mevsimsel olarak alüminyum, nikel, arsenik, kadmiyum, kurşun, manganez, demir, bakır ve çinko seviyelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

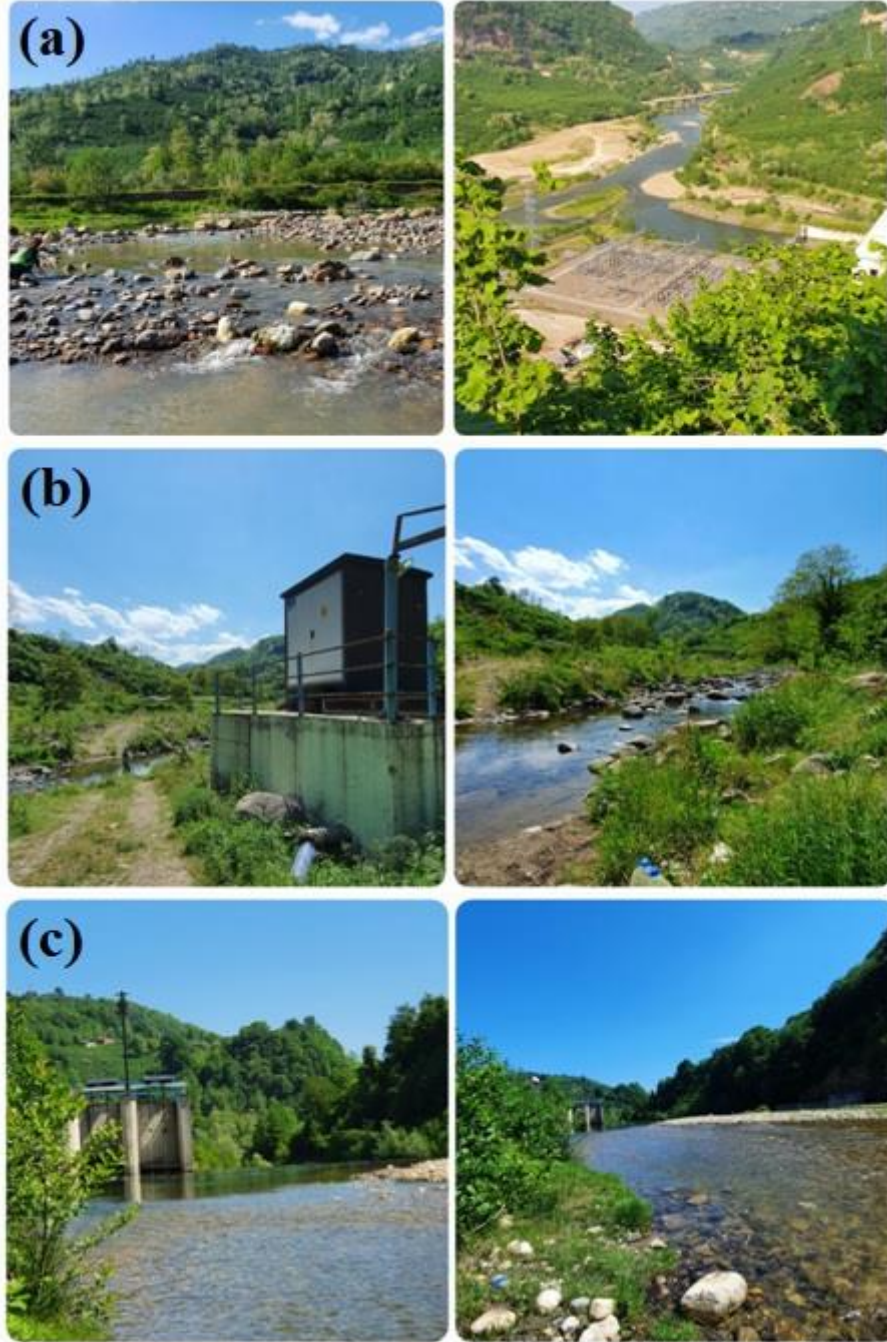
Altınordu ilçesinin şebeke suyu Melet Irmağı'ndan, Perşembe ilçesinin şebeke suyu Kacalı Deresi'nden ve Ünye ilçesinin şebeke suyu ise Cevizdere'den sağlanmaktadır. Şekil 1'de örnekleme noktalarının genel bir görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 1. A: Örnekleme istasyonlarının genel görünüşü, B: Cevizdere örnekleme bölgesi, C: Kacalı Deresi örnekleme bölgesi, D: Melet Irmağı örnekleme bölgesi



Melet Irmağı (Altınordu), Kacalı Deresi (Perşembe) ve Cevizdere (Ünye) sularının şebeke sistemine katıldığı noktalar Şekil 2 (a, b, c)'de görülmektedir.



Şekil 2. Melet Irmağı (a), Kacalı Deresi (b), Cevizdere (c)

Su numuneleri, üç akarsu üzerinden ayrı ayrı suyun arıtıma giriş bölgelerinden ve şebeke suyu numuneleri çalışma için belirlenen evlerdeki musluk sularından toplam 6 istasyon olmak üzere Ocak-Aralık 2020 tarihleri arasında mevsimsel olarak toplanmıştır. Su numuneleri, belirlenen istasyonlardan rasgele birkaç noktadan toplanmış ve temsili bir numune oluşturmak üzere seyreltik HCl ile durulanmış temiz ve steril 1 litrelik polietilen kutulara doldurulmuştur. Toplanan numuneler buz aküleri yardımıyla soğuk ortamda laboratuvara taşınmış ve doğrudan güneş ışığı almamasına

dikkat edilmiştir. Su örneklerinin sıcaklık (°C), pH, çözünmüş oksijen (ÇO) (%) ve oksijen doygunluğu (OD) değerleri Hach Lange multiparametre cihazı kullanılarak yerinde tayin edilmiştir. Ağır metal analizleri için standart prosedürlere göre (APHA, 1998) su numuneleri 0.45 µm nitroselüloz zar filtre yardımıyla filtre edilmiş, numunelerin pH'ını 2'nin altında tutmak amacıyla nitrik asit eklenmiştir. Su numuneleri falcon tüplerine alınarak analizlere kadar +4 C°'de saklanmıştır. Alüminyum (Al), arsenik (As), kadmiyum (Cd), bakır (Cu), demir (Fe), manganez (Mn), nikel (Ni), kurşun (Pb) ve çinko (Zn) elementlerinin analizleri Sinop Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi (SUBİTAM)'nde bulunan Agilent Technologies/7700X ICP-MS Systems marka İndüktif Eşleşmiş Plazma-Kütle Spektrometresi (ICP-MS) ile üç tekrarlı şekilde yapılmıştır. Ağır metal konsantrasyonları µg/L olarak ifade edilmiştir.

Suların analiz sonuçları, Kıta İçi Su Kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri (SKKY, 2008), içme suyu temin edilen suların kalitesi ve arıtılması hakkında yönetmelik (İSKA, 2019) ve insani tüketim amaçlı sular (TS 266, 2005) gibi ulusal yönetmelikler ile karşılaştırılmıştır (Tablo 1). İçme suyu standartlarında (TS 266, 2005), Sınıf 2 sular (kaynak suları dışındaki insani tüketim amaçlı sular) içerisinde yer alan Tip 2- içme ve kullanma suları değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca, Dünya Sağlık Örgütü (WHO, 1992) ve A.B.D. Çevre Koruma Örgütü (USEPA, 2004) gibi uluslararası örgütler tarafından belirlenen limit değerlerle de karşılaştırılmıştır (Tablo 2).

**Tablo 1.** Ulusal standartlara göre kabul edilebilir bazı fiziko-kimyasal parametreler ve metal(oid) konsantrasyonlarının (µg/L) değerleri

	TS 266	SKKY, 2008				İSKA, 2019		
	(2005)	I	II	III	IV	A1	A2	A3
Sıcaklık (C°)	-	25	25	30	> 30	-	-	-
pH	≤ 9,5 - 6,5 ≤	6,5 - 8,5	6,5 - 8,5	6,5 - 9,0	6,5 - 9,0 ≤	≤ 9,5 - 6,5 ≤	≤ 9,5 - 6,5 ≤	≤ 9,5 - 6,5 ≤
ÇO (mg/L)	-	8	6	3	< 3	-	-	-
OD (%)	-	90	70	40	< 40	-	-	-
Al	200	300	300	1000	> 1000	200	500	2000
As	10	20	50	100	> 100	10	40	100
Cd	5	3	5	10	> 10	5	15	50
Cu	2000	20	50	200	> 200	2000	5000	20000
Fe	200	300	1000	5000	> 5000	200	1000	2000
Mn	50	100	500	3000	> 3000	50	100	250
Ni	20	20	50	200	> 200	20	30	200
Pb	10	10	20	50	> 50	10	50	100
Zn	-	200	500	2000	> 2000	3000	6000	12000



**Tablo 2.** Uluslararası Standartlara göre kabul edilebilir metal(oid) konsantrasyonlarının değerleri ( $\mu\text{g/L}$ )

	WHO (1992)	USEPA (2004)
<b>Alüminyum</b>	100	50-200
<b>Arsenik</b>	10	10
<b>Kadmiyum</b>	3	5
<b>Bakır</b>	20	1000
<b>Demir</b>	-	300
<b>Manganez</b>	100	50
<b>Nikel</b>	70	100
<b>Kurşun</b>	10	10
<b>Çinko</b>	5000	5000

Su numunelerinin fiziko-kimyasal parametreleri ve metal(oid) konsantrasyonlarının tanımlayıcı istatistikleri hesaplanmıştır. Ayrıca, mevsimler arası farklılıklar da 0,05 önem düzeyinde Kruskal-Wallis testi yardımıyla belirlenmiştir. İstatistiksel testler MINITAB 16.0 programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Ordu ilinin içme suyu kaynaklarında ve şebeke sularında belirlenen bazı fiziko-kimyasal parametreler ve metal(oid)lerin konsantrasyonları ulusal ve uluslararası kabul edilebilir maksimum limitleri ile birlikte belirtilmiş ve karşılaştırılmıştır. Akarsulardan toplanan su numunelerinin ve şebeke ağlarından toplanan musluk sularının ölçülen fiziko-kimyasal parametreleri Tablo 3-7’de sunulmuştur. Su numunelerinin değerleri genel olarak ulusal içme suyu kalite standartlarında izin verilen limitlere uymaktadır (SKKY, 2008; TS 266, 2005; İSKA, 2019) (Tablo 1).

İlkbahar mevsiminde, tüm akarsu kaynakları ve şebeke sularında sıcaklık ve pH değerleri I. sınıf kalitededir (SKKY, 2008; TS 266, 2005; İSKA, 2019). Ancak, Melet Irmağı, Kacalı Deresi ve Cevizdere ile tüm şebeke sularındaki çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu değerlerinin III. sınıf su kalitesinde olduğu belirlenmiştir (SKKY, 2008). Yaz mevsiminde içme suyu kaynağı olarak kullanılan tüm akarsularda ve şebeke sularında sıcaklık, çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu değerleri I. sınıf su kalitesinde (SKKY, 2008), pH değerleri ise Kacalı Deresi ve Perşembe şebeke suyunda III. sınıf su kalitesindedir (SKKY, 2008; TS 266, 2005; İSKA, 2019). Sonbahar mevsiminde, Ünye şebeke suyunda pH değeri III. Sınıf su kalitesindeyken, diğer istasyonların tümünde sıcaklık ve pH değerleri I. sınıf su kalitesindedir (SKKY, 2008; TS 266, 2005; İSKA, 2019). Ayrıca, tüm akarsular ve şebeke sularında çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu değerlerinin III. sınıf su kalitesinde olduğu belirlenmiştir (SKKY, 2008). Kış mevsiminde Altınordu, Perşembe ve Ünye

şebeke suları ile tüm akarsuların sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu değerleri I. sınıf su kalitesine sahiptir (SKKY, 2008) (Tablo 1-3).

**Tablo 3.** Akarsulardan toplanan içme suları ve şebeke sularının sıcaklık, pH, çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu değerleri (İ: İlkbahar, Y: Yaz, S: Sonbahar, K: Kış)

		Sıcaklık (°C)	pH	Çözünmüş O <sub>2</sub> (mg/L)	Oksijen Doygunluğu (%)
İ	Melet Irmağı	20,3 ± 0,033	7,92 ± 0,006	<b>3,33 ± 0,033</b>	<b>36,46 ± 0,120</b>
Y		25,3 ± 0,033	8,24 ± 0,064	8,02 ± 0,012	98,63 ± 0,186
S		22,8 ± 0,067	8,12 ± 0,014	<b>4,76 ± 0,033</b>	<b>55,03 ± 0,470</b>
K		15,0 ± 0,088	7,85 ± 0,012	8,33 ± 0,145	81,33 ± 0,549
İ	Kacalı Deresi	19,8 ± 0,145	7,75 ± 0,014	<b>3,17 ± 0,033</b>	<b>34,86 ± 0,353</b>
Y		25,5 ± 0,001	<b>8,65 ± 0,037</b>	7,99 ± 0,012	98,60 ± 0,11
S		21,9 ± 0,067	7,90 ± 0,012	<b>4,93 ± 0,133</b>	<b>58,06 ± 0,088</b>
K		10,5 ± 0,100	7,88 ± 0,015	9,66 ± 0,033	88,70 ± 0,709
İ	Cevizdere	20,6 ± 0,033	7,53 ± 0,113	<b>3,43 ± 0,033</b>	<b>38,80 ± 0,265</b>
Y		25,0 ± 0,057	8,11 ± 0,073	8,43 ± 0,080	98,40 ± 0,057
S		21,7 ± 0,033	8,37 ± 0,020	<b>5,33 ± 0,088</b>	<b>62,46 ± 0,481</b>
K		14,2 ± 0,033	8,33 ± 0,006	8,56 ± 0,088	84,53 ± 0,233
İ	Altınordu	20,1 ± 0,100	7,84 ± 0,021	<b>3,20 ± 0,057</b>	<b>35,43 ± 0,384</b>
Y		25,4 ± 0,033	8,20 ± 0,003	7,68 ± 0,047	94,70 ± 0,611
S		22,9 ± 0,088	7,97 ± 0,044	<b>5,20 ± 0,057</b>	<b>60,50 ± 0,321</b>
K		15,1 ± 0,033	7,27 ± 0,068	7,90 ± 0,115	82,27 ± 2,070
İ	Perşembe	19,9 ± 0,153	7,82 ± 0,029	<b>3,20 ± 0,001</b>	<b>35,36 ± 0,088</b>
Y		25,5 ± 0,057	<b>8,53 ± 0,043</b>	8,21 ± 0,049	99,23 ± 0,033
S		22,1 ± 0,100	8,10 ± 0,064	<b>5,03 ± 0,033</b>	<b>59,26 ± 0,606</b>
K		11,9 ± 0,318	8,09 ± 0,056	9,56 ± 0,133	88,46 ± 0,841
İ	Ünye	20,4 ± 0,033	7,89 ± 0,044	<b>3,36 ± 0,066</b>	<b>36,33 ± 0,318</b>
Y		25,1 ± 0,066	7,95 ± 0,011	7,54 ± 0,038	98,33 ± 0,133
S		21,7 ± 0,057	<b>8,55 ± 0,009</b>	<b>4,73 ± 0,219</b>	<b>62,13 ± 0,433</b>
K		13,6 ± 0,133	8,07 ± 0,094	9,06 ± 0,167	86,03 ± 0,546

İlkbahar mevsiminde en yüksek sıcaklık, çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu değerleri Cevizdere'de, en yüksek pH değeri ise Melet Irmağı'nda ölçülmüştür. İlkbahar mevsiminde sudaki çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu değerleri Cevizdere'de III. ve IV. sınıf kalitede

belirlenmiştir. Yaz mevsiminde en yüksek sıcaklık değeri Kacalı Deresi ve Perşembe şebeke suyunda, en yüksek pH değeri Kacalı Deresi'nde, en yüksek çözünmüş oksijen değeri Cevizdere'de, en yüksek oksijen doygunluğu değeri Perşembe şebeke suyunda ölçülmüştür. Sonbahar mevsiminde en yüksek sıcaklık değeri Altınordu şebeke suyunda, en yüksek pH değeri Ünye şebeke suyunda, en yüksek çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu değeri Cevizdere'de tespit edilmiştir. Kış mevsiminde ise, en yüksek sıcaklık değeri Altınordu şebeke suyunda, en yüksek pH değeri Cevizdere'de, en yüksek çözünmüş oksijen ve oksijen doygunluğu değeri Kacalı Deresi'nde ölçülmüştür.

Bu çalışmada, sıcaklık değeri tüm akarsular ve şebeke sularında yaz mevsiminde en yüksek, kış mevsiminde en düşük değerdedir. Yaz mevsiminden sonraki en yüksek su sıcaklığı ise sonbahar mevsiminde ölçülmüştür (Tablo 3). Küresel ısınma sebebiyle yaz mevsiminden sonraki sezonun daha sıcak geçtiği görülmekte ve bunun da sonbahar mevsiminde su sıcaklığının artmasına neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, su numuneleri arasındaki sıcaklık farkının gün içi hava sıcaklık değişimlerinden ve ölçüm zamanları arasındaki güneş ışını açılarından da kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Serdar, 2015). Akuatik habitatlarda pH değeri, sudaki CO<sub>2</sub> ile ilişkilidir. Sucul bitkiler ve fitoplanktonlar bu habitatlarda fotosentez sonucu ortamdaki CO<sub>2</sub>'in azamasına ve buna bağlı olarak da pH'ın yükselmesine sebep olurlar (Boyd, 1990). Bu çalışmada, akarsulardaki pH değerlerinde dalgalanmalar görülmemektedir (Tablo 3). Bunun da çalışılan akarsulardaki vejetasyonların birbirleri ile benzerlik göstermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde çözünmüş oksijen değerlerinde oluşan mevsimsel farklılıkların da, su sıcaklığındaki değişimlerden kaynaklandığı ve çalışmamızda özellikle kış mevsimindeki yağışlardan kaynaklı sudaki çözünmüş oksijen miktarının arttığı anlaşılmaktadır (Tablo 3). Literatürde, oksijenin suda çözünebilirliğinin sıcaklıkla ters orantılı olduğu rapor edilmektedir (Tanyolaç, 2009). Ancak, bu çalışmada yaz mevsiminde de çözünmüş oksijen miktarı değerinin yüksek olduğu tespit edilmiştir. Özellikle yaz mevsimi gibi güneşli günlerde, sucul bitkiler ve fitoplanktonların fotosentetik aktivitelerindeki artışlar, sucul ortamdaki çözünmüş oksijen miktarının artışına neden olur. Bu da çalışmamızda yaz mevsimindeki çözünmüş oksijen miktarı değerlerini desteklemektedir.

Afyonkarahisar'da içme suyu olarak kullanılan Akarçay akarsuyunun su kalitesinin giderek kötüleştiği bildirilmiş, kanalizasyon, sanayi ve tarım atıklarıyla kirlendiği ancak arıtmanın yetersiz kaldığı belirtilmiştir (Kargıoğlu ve ark., 2012). Ayrıca, Akarçay suyunun ulusal su kalitesi kontrol yönetmeliğinde çözünmüş oksijen değeri bakımından IV. sınıf kalitede olduğu bildirilmiştir (DKMPGM, 2008; SKKY, 2008; Gümüş, 2021). Isparta Deresi'nde çözünmüş oksijen değerleri ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsimlerinde sırasıyla 7,16 mg/L, 5,46 mg/L, 7,08 mg/L ve 5,93 olarak bildirilmiştir (Kalyoncu ve ark., 2016). Taş ve ark. (2015), Melet Irmağı aşağı havzasında yaptıkları çalışmada çözünmüş oksijen değerini 9,59 mg/L, oksijen doygunluğunu ise % 107,6 olarak bildirmiştir. İçme suyu kaynaklarında ve şebeke sularında ölçülen çözünmüş oksijen miktarı, suyun

sıcaklığına, arıtma işlemleri ve şebeke boyunca ilerlerken gerçekleşen biyokimyasal süreçlere bağlı olarak değişim gösterir. Genel olarak kullanıma sunulan içme suyunun çözünmüş oksijen konsantrasyonu yeterlidir. Şebeke suyunda gerçekleşebilecek mikroorganizma üremesi ve uzun bir süre su sıcaklığının yükselmesi, içme suyundaki çözünmüş oksijen miktarının düşüşüne sebep olur (Oğuz, 2015).

Su kalitesi parametrelerinin değerlendirilmesi yanında bu parametre değerlerinin balıklar üzerindeki etkilerinin izlenmesi de su kaynağının sağlığını değerlendirmek açısından önemlidir. Avrupa Birliği Komisyonunun direktifine göre özellikle Cyprinid türleri için tatlı sularda balık sağlığının korunması amacıyla sudaki çözünmüş oksijen miktarının 4 mg/L'nin altına düşmemesi gereklidir (EC, 2015). Yapılan bu çalışmada, ilkbahar mevsiminde tüm akarsu kaynaklarının sularında çözünmüş oksijen değerleri 4 mg/L'nin altında ölçülmüştür. Yapılan bir çalışmada, Akarçay suyunda kış mevsimi haricinde çözünmüş oksijen değerleri 4 mg/L'nin çok altında bulunmuştur. Bu durum, ekolojik toleransı geniş ve ekstrem şartlara dayanıklı birkaç omurgasız ve alg türleri dışında, balık gibi yüksek yapılı omurgalı canlıların yaşayabilmesine imkân vermemektedir (Tokatlı, 2020). Bu çalışmada ise, tüm akarsu ve şebeke sularında kış mevsiminde çözünmüş oksijen değeri daha yüksektir. Soğuyan suyun oksijeni tutma kapasitesi arttığından dolayı, kış mevsiminde çözünmüş oksijen miktarı da yükselmiş olabilir (Kalyoncu ve ark., 2016).

Tüm su numunelerindeki alüminyum, nikel, arsenik, kadmiyum, kurşun, mangan, demir, bakır ve çinko konsantrasyonları mevsimsel olarak değerlendirilmiş ve Tablo 4-7'de sunulmuştur. Al, Ni, As, Cd, Pb, Mn, Fe ve Zn konsantrasyonları WHO (1992), USEPA (2004), SKKY (2008) ve İSKA (2019)'ya göre, ilkbahar, yaz, sonbahar ve kış mevsiminde tüm akarsular ve şebeke sularında belirlenen sınır değerleri aşmamıştır. Akarsuların ve şebeke sularının metal(oid) konsantrasyonlarının mevsimsel farklılıkları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Melet Irmağı'nda ilkbahar mevsiminde Al, kış mevsiminde ise Mn ve Zn konsantrasyonları diğer mevsimlere göre yüksektir. Melet Irmağı için Al, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd ve Pb konsantrasyonlarının mevsimler arasındaki farkları istatistiksel olarak önemlidir ( $P<0.05$ ). Altınordu şebeke suyunda Al, Fe, Cu ve Zn konsantrasyonlarının özellikle yaz mevsiminde diğer mevsimlere göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Altınordu şebeke suyu için Al, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd ve Pb konsantrasyonlarının mevsimler arasındaki farkları istatistiksel olarak önemlidir ( $P<0.05$ ). Kacalı Deresi'nde ilkbahar ve kış mevsimlerinde Al, sonbahar mevsiminde Fe ve yaz mevsiminde Zn konsantrasyonları diğer mevsimlere göre daha yüksektir. Kacalı Deresi için Al, Mn, Ni, Cu, Zn, As ve Cd konsantrasyonlarının mevsimler arasındaki farkları istatistiksel olarak önemlidir ( $P<0.05$ ). Perşembe şebeke suyunda yaz ve sonbahar mevsimlerinde Al ve Fe konsantrasyonları diğer mevsimlere göre daha yüksektir. Özellikle yaz mevsiminde Zn konsantrasyonu oldukça yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir. Perşembe şebeke suyu için tüm element konsantrasyonlarının mevsimler arasındaki farkları istatistiksel olarak önemlidir ( $P<0.05$ ).

Cevizdere suyunda kış mevsiminde Mn, yaz mevsiminde ise Zn konsantrasyonları diğer mevsimlere göre yüksektir. Cevizdere için tüm element konsantrasyonlarının mevsimler arasındaki farkları istatistiksel olarak önemlidir ( $P<0.05$ ). Ünye şebeke suyunda yaz ve kış mevsimlerinde Zn ve Al elementleri diğer mevsimlere göre daha yüksektir. Ayrıca, Ünye şebeke suyunda tespit edilen bakır elementi değeri ilkbahar mevsiminde  $30,555 \mu\text{g/L}$  ve kış mevsiminde  $58,935 \mu\text{g/L}$  olarak belirlenmiş ve II. sınıf su kalitesi için belirtilen limitleri geçmemiştir (SKKY, 2008). İlkbahar ve kış mevsimlerinde Cu konsantrasyonlarının WHO (1992)'nin belirttiği limitlerin oldukça üzerinde olduğu da belirlenmiştir. Ünye şebeke suyu için Al, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, As ve Cd konsantrasyonlarının mevsimler arasındaki farkları istatistiksel olarak önemlidir ( $P<0.05$ ).

**Tablo 4.** İlkbahar mevsiminde akarsular ve şebeke sularının metal(oid) konsantrasyonu ( $\mu\text{g/L}$ ) değerleri

	Melet Irmağı	Altınordu	Kacalı Deresi	Perşembe	Cevizdere	Ünye
<b>Al</b>	$25,736 \pm 0,815$ (24,422 - 27,230)	$19,982 \pm 0,676$ (18,747 - 21,077)	$17,254 \pm 0,912$ (15,462 - 18,449)	$1,325 \pm 0,289$ (1,007 - 1,903)	$0,748 \pm 0,111$ (0,529 - 0,887)	$0,947 \pm 0,119$ (0,708 - 1,067)
<b>Mn</b>	$1,309 \pm 0,100$ (1,126 - 1,472)	$0,862 \pm 0,065$ (0,791 - 0,992)	$1,093 \pm 0,053$ (1,015 - 1,193)	$0,669 \pm 0,104$ (0,501 - 0,859)	$0,334 \pm 0,039$ (0,289 - 0,412)	$0,200 \pm 0,051$ (0,133 - 0,301)
<b>Fe</b>	$10,581 \pm 0,590$ (9,528 - 11,567)	$5,264 \pm 0,287$ (4,910 - 5,832)	$9,642 \pm 0,226$ (9,214 - 9,980)	$6,638 \pm 0,151$ (6,377 - 6,899)	$3,561 \pm 0,236$ (3,147 - 3,965)	$3,518 \pm 0,074$ (3,402 - 3,657)
<b>Ni</b>	$0,257 \pm 0,011$ (0,238 - 0,275)	$0,338 \pm 0,008$ (0,328 - 0,354)	$0,190 \pm 0,017$ (0,168 - 0,224)	$0,201 \pm 0,015$ (0,182 - 0,231)	$0,362 \pm 0,008$ (0,348 - 0,378)	$0,347 \pm 0,009$ (0,330 - 0,362)
<b>Cu</b>	$5,427 \pm 0,163$ (5,100 - 5,602)	$7,057 \pm 0,110$ (6,877 - 7,257)	$3,856 \pm 0,093$ (3,716 - 4,033)	$4,859 \pm 0,053$ (4,791 - 4,965)	$3,705 \pm 0,134$ (3,443 - 3,881)	<b><math>30,555 \pm 0,312</math></b> (30,010 - 31,092)
<b>As</b>	$0,711 \pm 0,071$ (0,574 - 0,816)	$0,426 \pm 0,022$ (0,401 - 0,472)	$0,639 \pm 0,008$ (0,626 - 0,654)	$0,527 \pm 0,012$ (0,503 - 0,539)	$0,540 \pm 0,012$ (0,523 - 0,563)	$0,567 \pm 0,017$ (0,535 - 0,594)
<b>Cd</b>	$0,197 \pm 0,001$ (0,195 - 0,198)	$0,206 \pm 0,001$ (0,204 - 0,208)	$0,201 \pm 0,002$ (0,197 - 0,203)	$0,194 \pm 0,001$ (0,193 - 0,196)	$0,196 \pm 0,001$ (0,195 - 0,197)	$0,192 \pm 0,0001$ (0,191 - 0,193)
<b>Pb</b>	$0,342 \pm 0,017$ (0,307 - 0,363)	$0,323 \pm 0,016$ (0,297 - 0,353)	$0,363 \pm 0,012$ (0,339 - 0,378)	$0,288 \pm 0,038$ (0,212 - 0,329)	$0,403 \pm 0,008$ (0,393 - 0,420)	$0,411 \pm 0,038$ (0,358 - 0,486)
<b>Zn</b>	$7,126 \pm 0,340$ (6,454 - 7,556)	$8,588 \pm 0,348$ (7,930 - 9,115)	$6,239 \pm 0,091$ (6,059 - 6,349)	$5,269 \pm 0,303$ (4,666 - 5,622)	$3,918 \pm 0,135$ (3,647 - 4,063)	$2,608 \pm 0,280$ (2,213 - 3,148)

**Tablo 5.** Yaz mevsiminde akarsular ve şebeke sularının metal(oid) konsantrasyonu ( $\mu\text{g/L}$ ) değerleri

	Melet Irmağı	Altınordu	Kacalı Deresi	Perşembe	Cevizdere	Ünye
<b>Al</b>	9,250 $\pm$ 1,430 (6,440 - 11,100)	83,223 $\pm$ 0,528 (82,665 - 84,278)	6,044 $\pm$ 0,072 (5,905 - 6,144)	59,230 $\pm$ 1,190 (57,750 - 61,580)	7,119 $\pm$ 0,224 (6,741 - 7,518)	8,991 $\pm$ 0,622 (7,876 - 10,026)
<b>Mn</b>	0,758 $\pm$ 0,028 (0,702 - 0,791)	4,892 $\pm$ 0,127 (4,754 - 5,145)	0,397 $\pm$ 0,007 (0,389 - 0,412)	3,868 $\pm$ 0,061 (3,749 - 3,950)	1,174 $\pm$ 0,033 (1,126 - 1,238)	0,579 $\pm$ 0,032 (0,524 - 0,635)
<b>Fe</b>	11,503 $\pm$ 0,386 (10,775 - 12,088)	34,043 $\pm$ 0,641 (33,175 - 35,295)	9,996 $\pm$ 0,266 (9,690 - 10,526)	20,856 $\pm$ 0,602 (20,088 - 22,043)	9,861 $\pm$ 0,303 (9,343 - 10,393)	7,271 $\pm$ 0,160 (6,952 - 7,439)
<b>Ni</b>	0,456 $\pm$ 0,017 (0,425 - 0,485)	1,901 $\pm$ 0,063 (1,776 - 1,987)	0,413 $\pm$ 0,017 (0,394 - 0,448)	0,838 $\pm$ 0,014 (0,816 - 0,865)	0,785 $\pm$ 0,013 (0,770 - 0,812)	0,837 $\pm$ 0,013 (0,818 - 0,863)
<b>Cu</b>	4,699 $\pm$ 0,027 (4,645 - 4,736)	16,551 $\pm$ 0,416 (15,719 - 16,985)	4,967 $\pm$ 0,115 (4,808 - 5,191)	5,000 $\pm$ 0,151 (4,698 - 5,158)	5,394 $\pm$ 0,066 (5,301 - 5,522)	18,660 $\pm$ 0,172 (18,417 - 18,993)
<b>As</b>	0,634 $\pm$ 0,085 (0,519 - 0,801)	0,699 $\pm$ 0,102 (0,495 - 0,821)	0,585 $\pm$ 0,013 (0,559 - 0,598)	0,334 $\pm$ 0,025 (0,293 - 0,380)	0,712 $\pm$ 0,029 (0,674 - 0,769)	1,096 $\pm$ 0,051 (1,019 - 1,193)
<b>Cd</b>	0,226 $\pm$ 0,001 (0,225 - 0,227)	0,217 $\pm$ 0,002 (0,216 - 0,220)	0,200 $\pm$ 0,002 (0,199 - 0,201)	0,208 $\pm$ 0,001 (0,206 - 0,209)	0,210 $\pm$ 0,001 (0,207 - 0,212)	0,204 $\pm$ 0,002 (0,199 - 0,207)
<b>Pb</b>	0,488 $\pm$ 0,005 (0,479 - 0,496)	2,056 $\pm$ 0,062 (1,983 - 2,181)	0,531 $\pm$ 0,036 (0,483 - 0,603)	0,954 $\pm$ 0,004 (0,949 - 0,963)	0,559 $\pm$ 0,010 (0,543 - 0,578)	0,498 $\pm$ 0,086 (0,341 - 0,637)
<b>Zn</b>	12,789 $\pm$ 0,213 (12,463 - 13,190)	102,260 $\pm$ 1,620 (99,130 - 104,530)	13,842 $\pm$ 0,345 (13,170 - 14,313)	105,010 $\pm$ 1,790 (101,630 - 107,740)	19,644 $\pm$ 0,188 (19,346 - 19,991)	14,646 $\pm$ 0,680 (13,523 - 15,873)

**Tablo 6.** Sonbahar mevsiminde akarsular ve şebeke sularının metal(oid) konsantrasyonu ( $\mu\text{g/L}$ ) değerleri

	Melet Irmağı	Altınordu	Kacalı Deresi	Perşembe	Cevizdere	Ünye
<b>Al</b>	2,599 $\pm$ 0,099 (2,500 - 2,798)	2,719 $\pm$ 0,335 (2,082 - 3,217)	1,982 $\pm$ 0,159 (1,664 - 2,142)	0,330 $\pm$ 0,170 (0,009 - 0,529)	1,465 $\pm$ 0,177 (1,126 - 1,724)	2,201 $\pm$ 0,226 (1,783 - 2,560)
<b>Mn</b>	0,226 $\pm$ 0,065 (0,155 - 0,356)	0,215 $\pm$ 0,091 (0,032 - 0,323)	0,401 $\pm$ 0,061 (0,289 - 0,501)	0,021 $\pm$ 0,034 (0,023 - 0,088)	0,349 $\pm$ 0,048 (0,289 - 0,445)	0,416 $\pm$ 0,045 (0,345 - 0,501)
<b>Fe</b>	5,488 $\pm$ 0,176 (5,275 - 5,838)	5,113 $\pm$ 0,126 (4,887 - 5,322)	21,600 $\pm$ 15,800 (5,700 - 53,200)	2,853 $\pm$ 0,081 (2,700 - 2,978)	3,961 $\pm$ 0,103 (3,756 - 4,075)	4,778 $\pm$ 0,018 (4,747 - 4,811)
<b>Ni</b>	1,405 $\pm$ 0,038 (1,347 - 1,478)	0,660 $\pm$ 0,009 (0,641 - 0,673)	0,311 $\pm$ 0,038 (0,239 - 0,371)	0,316 $\pm$ 0,007 (0,301 - 0,325)	0,503 $\pm$ 0,027 (0,475 - 0,557)	0,682 $\pm$ 0,029 (0,631 - 0,732)
<b>Cu</b>	6,950 $\pm$ 0,065 (6,871 - 7,080)	7,330 $\pm$ 0,127 (7,155 - 7,578)	4,971 $\pm$ 0,135 (4,780 - 5,233)	5,576 $\pm$ 0,117 (5,437 - 5,809)	4,100 $\pm$ 0,075 (3,999 - 4,248)	9,355 $\pm$ 0,124 (9,195 - 9,598)
<b>As</b>	0,939 $\pm$ 0,102 (0,833 - 1,142)	0,542 $\pm$ 0,054 (0,444 - 0,630)	0,728 $\pm$ 0,073 (0,582 - 0,809)	0,561 $\pm$ 0,010 (0,547 - 0,583)	0,414 $\pm$ 0,030 (0,368 - 0,471)	0,649 $\pm$ 0,017 (0,614 - 0,670)
<b>Cd</b>	0,209 $\pm$ 0,0001 (0,208 - 0,209)	0,199 $\pm$ 0,001 (0,197 - 0,200)	0,206 $\pm$ 0,002 (0,202 - 0,209)	0,195 $\pm$ 0,0001 (0,194 - 0,195)	0,211 $\pm$ 0,002 (0,208 - 0,214)	0,204 $\pm$ 0,001 (0,202 - 0,208)
<b>Pb</b>	0,497 $\pm$ 0,010 (0,476 - 0,509)	0,467 $\pm$ 0,015 (0,445 - 0,495)	0,463 $\pm$ 0,004 (0,454 - 0,469)	0,417 $\pm$ 0,037 (0,343 - 0,466)	0,491 $\pm$ 0,016 (0,471 - 0,523)	0,465 $\pm$ 0,096 (0,317 - 0,646)
<b>Zn</b>	6,973 $\pm$ 0,095 (6,786 - 7,098)	9,358 $\pm$ 0,360 (8,720 - 9,968)	6,876 $\pm$ 0,091 (6,765 - 7,056)	2,968 $\pm$ 0,221 (2,546 - 3,294)	8,041 $\pm$ 0,270 (7,701 - 8,575)	12,192 $\pm$ 0,486 (11,569 - 13,149)

**Tablo 7.** Kış mevsiminde akarsular ve şebeke sularının metal(oid) konsantrasyonu ( $\mu\text{g/L}$ ) değerleri

	Melet Irmağı	Altınordu	Kacalı Deresi	Perşembe	Cevizdere	Ünye
<b>Al</b>	14,307 $\pm$ 0,311 (13,789 - 14,865)	47,042 $\pm$ 0,782 (45,508 - 48,077)	15,280 $\pm$ 2,460 (12,360 - 20,180)	32,626 $\pm$ 0,699 (31,650 - 33,979)	8,190 $\pm$ 1,430 (5,430 - 10,210)	7,996 $\pm$ 0,440 (7,159 - 8,653)
<b>Mn</b>	4,471 $\pm$ 0,059 (4,385 - 4,586)	9,436 $\pm$ 0,265 (8,929 - 9,823)	6,343 $\pm$ 0,205 (6,127 - 6,752)	2,856 $\pm$ 0,055 (2,744 - 2,912)	14,785 $\pm$ 0,221 (14,357 - 15,094)	1,695 $\pm$ 0,023 (1,651 - 1,729)
<b>Fe</b>	11,778 $\pm$ 0,851 (10,706 - 13,459)	18,523 $\pm$ 0,606 (17,602 - 19,667)	8,472 $\pm$ 0,328 (7,915 - 9,051)	22,301 $\pm$ 0,531 (21,465 - 23,286)	7,373 $\pm$ 0,360 (6,720 - 7,962)	2,538 $\pm$ 0,183 (2,173 - 2,729)
<b>Ni</b>	2,031 $\pm$ 0,023 (1,988 - 2,068)	2,978 $\pm$ 0,021 (2,939 - 3,012)	0,381 $\pm$ 0,031 (0,338 - 0,443)	0,563 $\pm$ 0,010 (0,547 - 0,582)	0,026 $\pm$ 0,006 (0,014 - 0,036)	0,875 $\pm$ 0,035 (0,821 - 0,941)
<b>Cu</b>	5,159 $\pm$ 0,049 (5,083 - 5,251)	7,490 $\pm$ 0,084 (7,345 - 7,638)	1,984 $\pm$ 0,071 (1,849 - 2,089)	4,785 $\pm$ 0,077 (4,697 - 4,940)	1,029 $\pm$ 0,049 (0,937 - 1,108)	<b>58,935 <math>\pm</math> 0,316</b> (58,468 - 59,536)
<b>As</b>	0,153 $\pm$ 0,017 (0,122 - 0,182)	0,638 $\pm$ 0,021 (0,602 - 0,674)	0,186 $\pm$ 0,026 (0,154 - 0,237)	0,002 $\pm$ 0,029 (0,0001 - 0,055)	0,618 $\pm$ 0,012 (0,594 - 0,634)	0,502 $\pm$ 0,016 (0,479 - 0,535)
<b>Cd</b>	0,238 $\pm$ 0,001 (0,236 - 0,240)	0,192 $\pm$ 0,001 (0,191 - 0,193)	0,194 $\pm$ 0,001 (0,192 - 0,196)	0,239 $\pm$ 0,001 (0,237 - 0,240)	0,187 $\pm$ 0,001 (0,186 - 0,189)	0,199 $\pm$ 0,001 (0,198 - 0,201)
<b>Pb</b>	1,304 $\pm$ 0,076 (1,225 - 1,456)	1,018 $\pm$ 0,005 (1,007 - 1,026)	0,487 $\pm$ 0,045 (0,399 - 0,548)	1,497 $\pm$ 0,077 (1,351 - 1,613)	0,399 $\pm$ 0,030 (0,338 - 0,430)	0,799 $\pm$ 0,007 (0,786 - 0,811)
<b>Zn</b>	13,523 $\pm$ 0,358 (12,816 - 13,981)	17,571 $\pm$ 0,549 (16,476 - 18,181)	5,338 $\pm$ 0,379 (4,583 - 5,768)	8,685 $\pm$ 0,247 (8,242 - 9,094)	1,430 $\pm$ 0,194 (1,236 - 1,818)	16,310 $\pm$ 0,546 (15,374 - 17,266)

Bu çalışmanın sonucunda elde edilen verilere göre, Ordu ilinin ilçeleri olan Altınordu, Perşembe ve Ünye'de içme suyu ve diğer şekillerde tüketilen ve kullanılan sulardaki metal(oid)lere maruz kalma durumları alüminyum, manganez, çinko, demir ve özellikle Ünye şebeke suyunda bakır elementi yönünden daha muhtemeldir. Ünye şebeke suyunda Cu elementi ilkbahar ve kış mevsimlerinde SKKY (2008)'de belirtilen I. sınıf su kalitesi sınır değerini aşmıştır. İçme suyunda izin verilen bakır sınırı  $20,0 \mu\text{g/L}$ 'dir (WHO, 1992). Cu elementi uluslararası standarda göre belirtilen limitlerin de oldukça üzerinde bulunmuştur (WHO, 1992). Bakır elementinin konsantrasyonundaki artış çeşitli sebeplerle açıklanabilir. Bakır elementi kaplama, kablolar, insektisit ve gıda katkı maddesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Poyraz, 2014). Su kaynaklarına alglerin büyümesini baskılamak amacıyla küçük miktarlarda bakır tuzlarının bilinçli olarak eklendiği ve tarımsal pestisit sprelerinde bakırın organik ve inorganik bileşiklerinin yaygın olarak bulunduğu bildirilmiştir (Chakrabarty ve Sarma, 2011). Ayrıca, bakır konsantrasyonundaki artışın su tesisatında gerçekleşmiş olabilecek korozyondan kaynaklanabileceği de düşünülmektedir. Bakırın suya bakır su borularından ve su tesisatının bakır bağlantı parçalarından aşınarak karışabildiği belirtilmiştir (Yalçın ve Gürü, 2002). Suda zaman zaman oluşabilecek mikroorganizma artışı da suyun taşındığı borularda korozyona yol açabilmektedir (Oğuz, 2015). Akarsuların akışı boyunca birçok tarım alanı ve fındık bahçeleri göze çarpmaktadır. Bu alanlarda tarımsal faaliyetler gerçekleştirilmekte ve pestisitler kullanılmaktadır. Suda ortaya çıkan yüksek miktarlardaki bakır konsantrasyonunun ana sebebinin kullanılan bu pestisitler olduğu düşünülmektedir. Yapılan bir çalışmada, özellikle tarımsal faaliyetlerde kullanılan bakır

içerikli pestisitlerin doğada yüksek miktarlarda birikime yol açtığı vurgulanmıştır (Ustaoglu ve ark., 2015).

Kalyoncu ve ark. (2016) Isparta Çayı'nda kış aylarında sudaki Cu konsantrasyonunun arttığını bildirmiştir. Sonbahar ve yaz mevsimlerinde ise Ünye şebeke suyunda Cu elementi ulusal yönetmeliklerde belirtilen limit değeri aşmamış ve belirtilen sınırlar içerisinde kalmıştır (SKKY, 2008). Akarçay'da daha önce yapılan çalışmada, ortalama Cu konsantrasyonunun Ulusal Yönetmelikte belirtilen limitleri aşmadığı bildirilmiştir. Ayrıca manganez (178 µg/L) ve nikel (36 µg/L) konsantrasyonlarının yaz aylarında arttığı ve uluslararası sınır değerlerin üzerinde olduğu belirtilmiştir (Gümüş, 2021). Bakırın daha düşük konsantrasyonları ise, oksitlerle birlikte çökmenin veya mineral yüzeylerdeki emilimin bir sonucu olarak açıklanabilir (Chakrabarty ve Sarma, 2011).

Çalışma bölgesi genel olarak incelendiğinde, jeolojik konumu itibariyle kayaçların ve alüvyal dolguların yaygın olduğu ve özellikle bakır, kurşun, gümüş, çinko, demir, altın ve manganez yataklarının bulunduğu bir alandır (Anonim, 2023). Dolayısıyla, belirtilen metallerin suya karışıp suda tespit edilmesinde, antropojenik etkilerin yanı sıra bölgede doğal olarak bulunmasının da büyük etkisi olduğu düşünülmektedir. Yaz mevsiminde alüminyum ve çinko elementlerinin konsantrasyonlarının Altınordu şebeke suyunda oldukça fazla düzeyde artış gösterdiği dikkat çekmektedir. Alüminyum suyla en fazla taşınma potansiyeli olan elementtir (Akman ve ark., 2014). Alüminyum suya doğal olarak veya yapay nedenlerle karışabilir. Su arıtımı esnasında koagülasyon işlemi için Al tuzları kullanılmaktadır. Alüminyumun giderilmesi ise yalnızca suda doğal olarak bulunduğu gerçekleşmektedir. Diğer tüm durumlarda alüminyumun suya karışmasının engellenmesi gereklidir (Yılmaz ve ark., 2014). Ayrıca, alüminyum klorür ve alüminyum sülfat, yüzey sularındaki doğal organik maddelerin giderilmesinde kullanılmaktadır (Akman ve ark., 2014). Bununla birlikte, manganez, demir, nikel, bakır, arsenik ve kurşun elementlerinin de Altınordu şebeke suyundaki konsantrasyonları Melet Irmağı suyuna oranla daha yüksek bulunmuştur. Yılmaz ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada, Düzce Konuralp'ten alınan musluk suyu örneğinde Fe değeri (305,5 µg/L)'nin Çevre Koruma Örgütü (EPA) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından belirlenen sınır değerlerin üzerinde bulunduğunu bildirmişlerdir. Farklı lokasyonlardaki içme sularıyla yapılan bazı çalışmalarda ise, Fe konsantrasyonları sınır değerler içerisinde tespit edilmiştir (Sorlini ve ark., 2013). Ulusal yönetmeliklere göre, bu çalışmada özellikle alüminyum, manganez, çinko ve demir konsantrasyonları farklı içme suyu kaynakları ve şebeke sularında mevsimsel olarak değişiklikler gösterse de belirtilen sınır değerleri sağlamaktadır ve I. sınıf su kalitesi özelliği göstermektedir (SKKY, 2008). Akarçay'da yapılan çalışmada, belirlenen ortalama Cu, Fe, Zn, Mn, Pb, Ni, Cd değerlerinin I. sınıf su kalitesinde olduğu bildirilmiştir. Bu akarsuda yazın mangan (178 µg/L) ve nikel (36 µg/L) konsantrasyonları II. sınıf su kalitesindedir. Mn ve Ni elementlerinin uluslararası limitlere göre de yüksek olduğu belirtilmiştir (Gümüş, 2021). Karasu Irmağı suyunda da Ni elementi



konsantrasyonunun II. sınıf su kalitesinde olduğu bildirilmiştir (Sönmez ve ark., 2012). Kalyoncu ve ark. (2016) Isparta Deresi'nde suda Cu ve Zn elementlerinin tespit edilemediğini, Cd, Mo ve Se elementlerinin yazın, Cr, Cu ve Ni elementlerinin kışın, Fe ve Mn elementlerinin sonbaharda, Pb ve Zn elementlerinin ilkbaharda arttığını bildirmişlerdir.

Su kaynaklarının kalitesinin sürekli olarak değerlendirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bakır gibi ağır metaller temel eser elementlerdir ancak içme suyunda fazla miktarda bulunursa toksisite gösterirler. İçme suyundaki insan zehirlenmeleriyle en sık bağlantılı olan ağır metaller arasında kurşun, demir, kadmiyum, bakır, çinko, krom sayılabilir. Bu elementlere vücut tarafından küçük miktarlarda ihtiyaç duyulur ancak büyük dozlarda toksik olabilirler (Mohod ve Dhote, 2013). İçme ve kullanma suyu olarak değerlendirilen kaynaklarda, ulusal ve uluslararası standartlarda izin verilen sınır değerler üzerinde olan element konsantrasyonları toksisiteye neden olur. Elementlerin sebep olduğu toksisitenin bilinen ölümcül etkileri arasında zihinsel bozukluklar ve merkezi sinir sistemi fonksiyonlarının hasar görmesi, azalması veya enerji seviyesinin düşmesi yer almaktadır. Ayrıca kan bileşiminde düzensizliğe neden olarak, böbrekler ve karaciğer gibi hayati organların kötü etkilenmesine yol açarlar (Khan ve ark., 2011).

Poyraz (2014) Marmara, Ege ve Karadeniz bölgeleri bazında ağır metal maruziyetlerini incelemiştir. Buna göre, Karadeniz bölgesindeki insanların alüminyum ve nikel elementlerine diğer bölgelere oranla daha fazla maruz kaldığını bildirmiştir. Ayrıca, Marmara Bölgesi'nde yaşayan insanlar mangan, bakır ve kurşun elementlerine, Ege Bölgesi'nde yaşayan insanlar ise demir ve çinko elementlerine daha fazla maruz kalmaktadır. Su kaynaklarındaki ağır metal değişiminin ve ağır metal değişimini etkileyen faktörlerin belirlenmesi, su kaynağının geleceğiyle ilgili tedbirlerin alınması sağlanmalıdır (Karadavut ve ark., 2012; Gümüş, 2021). Özellikle, içme suyu olarak kullanılan su kaynaklarının kirlenmesine yol açan kirleticilerin kontrol altına alınması önemlidir (Kalipci ve ark., 2017a; 2017b).

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Gelişmeye devam eden bir şehir olan Ordu iliyle Altınordu, Perşembe ve Ünye ilçelerinde alt yapıların oluşturulmasında ve mevcut alt yapıların korunmasında aksaklıklar yaşanabilmektedir. İnsanların sağlıklı kullanma ve içme suyuna ulaşmaları için su arıtımı yeterli seviyede olsa da şebeke sistemlerinde istenmeyen bazı olumsuz durumların yaşanabileceği görülmüştür. Bu sebeple, eski borular ve isale hatları ile bakımı yapılmamış hatların ortaya çıkardığı metal kirliliğinin, belirlenen standartlara uygun içme ve kullanma suyuna ulaşmayı zorlaştırdığı düşünülmektedir.

Ünye şebeke suyunun ilkbahar ve kış numunelerinde, Dünya Sağlık Örgütü'nün belirlediği limitlerden endişe verici derecede daha yüksek konsantrasyonda bakır bulunmuştur. İçme suyu

numunelerinde bakırın tespiti, insan sağlığı açısından risk oluşturabilir. Dolayısıyla, hem su kaynağı olarak kullanılan Cevizdere'nin hem de Şebeke suyu sistemindeki suyun, içme ve diğer amaçlarla kullanılmadan önce iilebilirliğinin dikkatle test edilmesi gereklidir. Bakır elementinin yüksek bulunmasında, antropojenik kaynakların katkısı da göz ardı edilmemelidir. Akarsuların çevresinde bulunan ve tarımsal faaliyetlerin gerçekleştirildiği alanlarda pestisit kullanımının kontrollü ve bilinçli bir Şekilde uygulanmasının, su kaynaklarındaki yüksek bakır birikimini engellemede etkili olacağı düşünölmektedir. İleriki çalışmalarda, kış ve ilkbahar mevsimlerinde Ünye Şebeke suyunda tespit edilen bakır elementinin nereden kaynaklandığı ve suya nasıl karıştığı araştırılması da uygun olacaktır. Bu sebeple, Şebeke sularının izlenmesi kadar Şebeke hattının da itinayla takibe alınması, gerekli müdahalenin zamanında yapılması açısından önem arz etmektedir.

### **Teşekkür**

Bu alışma, Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (BAP) tarafından desteklenen G-2004 kodlu GÜdümlü projenin bir kısmını kapsamaktadır. Desteklerinden dolayı Ordu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **ıkar atışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

Akman, Ö., Atasever, S., Güçlü, E., Gümüş, G., andar, T. (2014). Alüminyum ve insan [PDF document]. Retrieved from: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwip09i7kJmEAXW2AdsEHRNNBbwQFnoECA4QAQ&url=http%3A%2F%2Ftip.baskent.edu.tr%2Fkw%2Fupload%2F464%2Fdosyalar%2Fcg%2Fsempozyum%2Fogrsmpzsnm13%2F13.P1.pdf&usg=AOvVaw2J6hnogVQZ7zpDcjLlO0n7&opi=89978449> (Erişim tarihi: 07 Şubat 2024).

- Anonim, (2004). Ordu çevre durum raporu, T.C. Ordu Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Ordu.
- Anonim, (2023). Ordu çevre durum raporu. T.C. Ordu Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü, Ordu.
- APHA (American Public Health Association), (1998). *Standard method for examination of water and wastewater* (20th ed.). Wahington, DC: APHA.
- Bayrak Özbucak, T., ve Taş, B., (2016). Kacalı Deresi riparian alanının (Perşembe, Ordu) makrofit florası. *Akademik Ziraat Dergisi*, 5(2), 117-125.
- Borah, K. K., Bhuyan, B., ve Sarma, H. P., (2009). Heavy metal contamination of groundwater in the tea garden belt of Darrang District, Assam, India. *E-Journal of Chemistry*, 6(S1), 501-507.
- Boyd, C.E., (1990). *Water quality in ponds for aquaculture*. Alabama: Auburn University, Alabama Agricultural Experiment Station Press.
- Chakrabarty, S., ve Sarma, H.P., (2011). Heavy metal contamination of drinking water in Kamrup district, Assam, India. *Environmental Monitoring and Assessment*, 179, 479–486.
- Dağlıoğlu, Y., (2023). Ordu ili içme suyu kaynaklarının mühendislik nanopartiküllerinin konsantrasyonları bakımından incelenmesi ve değerlendirilmesi [PDF document]. Retrieved from: [https://www.researchgate.net/publication/369542315\\_Ordu\\_Ili\\_Icme\\_Suyu\\_Kaynaklarinin\\_Muhendislik\\_Nanopartikullerinin\\_Konsantrasyonlari\\_Bakimindan\\_Incelenmesi\\_ve\\_Degerlendirilmesi](https://www.researchgate.net/publication/369542315_Ordu_Ili_Icme_Suyu_Kaynaklarinin_Muhendislik_Nanopartikullerinin_Konsantrasyonlari_Bakimindan_Incelenmesi_ve_Degerlendirilmesi) (Erişim tarihi: 02 Şubat 2024).
- Davis, P. H., (1965-1985). *Flora of Turkey and the East Aegean Island* (Vol. I-IX). Edinburgh: Edinburgh University Press.
- DKMPGM, (2008). Akşehir Eber gölleri sulak alan yönetim planı (2008-2012). T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü.
- DSİ, (2001). Ordu-Ünye-Cevizdere, Kuşdoğan, Düzköy, Denizbükü köyleri ve arazilerinin Cevizdere taşkın ve kıyı oyuntusundan korunmasına ait ön inceleme raporu. DSİ 7. Şube Müdürlüğü, Samsun.
- DSİ, (2014). Devlet Su İşleri Müdürlüğü, DSİ 75. Şube Müdürlüğü, Ordu.
- E.C., (2015). European Communities. Commission directive 2015 CD (EU) 2015/1787 of 6 October 2015 amending annexes II and III to council directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. European Council, Brussels, Belgium.
- Gümüş, N. E., (2021). Akarçay akarsuyu (Afyonkarahisar) su kalitesi ve ağır metal kirliliğinin belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 6(1), 120-127.
- İSKA, (2019). İçme suyu temin edilen suların kalitesi ve arıtılması hakkında yönetmelik, 6 Temmuz 2019, Resmî Gazete Sayı: 30823.
- Kalipci, E., Cüce, H., ve Toprak, S., (2017a). Damsa Barajı Nevşehir yüzey suyu kalitesinin coğrafi bilgi sistemi ile mekansal analizi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7(1), 312-319.
- Kalipci, E., Cüce, H., ve Toprak, S., (2017b). Coğrafi bilgi sistemleri (Cbs) kullanılarak Mamasın Barajı yüzey suyu kalitesinin değerlendirilmesi. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 351-361.
- Kalyoncu, H., Özcan, C., ve Tekin-Özcan, S., (2016). Isparta Deresi'nin su ve sedimentlerindeki ağır metal birikiminin incelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (Ek Sayı 1), 268-280.
- Karadavut, S., Delibas, L., Kalipci, E., Özdemir, C., ve Karadavut, I. S., (2012). Evaluation of irrigation water quality of Aksaray region by using geographic information system. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 7(2), 171-182.
- Kargıoğlu, M., Serteser, A., Kıvrak, E., İçağa, Y., ve Konuk, M., (2012). Relationships between epipellic diatoms, aquatic macrophytes, and water quality in Akarçay Stream, Afyonkarahisar, Turkey. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 41(1), 74-84.
- Kaya, Y., Karaman, Ü., ve Yolalan, G., (2021). Ordu ili kaynak sularının parazit varlığı açısından değerlendirilmesi. *ODÜ Tıp Dergisi*, 8(1), 14-18.
- Khan, S. A., Din, Z. U., Ihsanullah, ve Zubair, A., (2011). Levels of selected heavy metals in drinking water of peshawar city. *International Journal of Science and Nature*, 2(3), 648- 652.
- Kontaş, S., ve Bostancı, D., (2020a). Genotoxic effects of environmental pollutant heavy metals on *Alburnus chalcoides* (Pisces: Cyprinidae) inhabiting Lower Melet River (Ordu, Turkey). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 104, 763-769.
- Kontaş, S., ve Bostancı, D., (2020b). Ağır metal varlığında *Vimba vimba* bireylerindeki genotoksik hasarın tespiti. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(3), 2090-2100.
- Kontaş, S., ve Bostancı, D., (2020c). Balıklarda genotoksik hasarın belirlenmesine yönelik bir araştırma: *Capoeta banarescui* örneği. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 6(2), 144-152.

- Kurucu, G., ve Bostancı, D., (2022). Ordu'nun derelerindeki fiziko-kimyasal özelliklere yeni katkılar: Curi Deresi (Ünye-Ordu). *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 24(2), 700-708.
- Mohod, C. V., ve Dhote, J., (2013). Review of heavy metals in drinking water and their effect on human health. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2(7), 2992-2996.
- Oğuz, T. C., (2015). *İçme suyu arıtımında yaygın olarak karşılaşılan su kalite problemleri ve arıtımı için çözüm önerileri*. Uzmanlık Tezi, T. C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 92s.
- Poyraz, B., (2014). Farklı lokasyonlardan alınan içme sularında ağır metal analizi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 2(1), 16-27.
- Serdar, S., (2015). Doğu Karadeniz Havzası Akarsularının Fizikokimyasal Su Kalitesi Mevsimsel Değişimlerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- SKKY, (2008). Su kirliliği kontrolü yönetmeliğinde değişiklik yapılmasına dair yönetmelik, 13 Şubat 2008, Resmî Gazete Sayı: 26786.
- Sorlini, S., Palazzini, D., Sieliechi, J. M., ve Ngassoum, M. B., (2013). Assessment of physical-chemical drinking water quality in the Logone Valley (Chad-Cameroon). *Sustainability*, 5(7), 3060-3076.
- Sönmez, A. Y., Hisar, O., ve Yanık, T., (2012). Karasu Irmağı'nda ağır metal kirliliğinin tespiti ve su kalitesine göre sınıflandırılması. *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 43(1), 69-77.
- Tanyolaç, J., (2009). *Limnoloji (Tatlısu Bilimi)*. Ankara: Hatipoğlu Yayınevi.
- Taş, B., Yılmaz, Ö., ve Kurt, I., (2015). Aşağı Melet Irmağı (Ordu, Türkiye)'nda su kalitesinin göstergesi olan epipelik diatomeler. *Türk Tarım – Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3(7), 610-616.
- Tepe, Y., Şimşek, A., Ustaoglu, F., ve Taş, B., (2022). Spatial-temporal distribution and pollution indices of heavy metals in the Turnasuyu Stream sediment, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 194, 818.
- Tokatlı, C., (2020). Ergene nehir havzası su kalitesinin çok değişkenli istatistik analizler kullanılarak değerlendirilmesi. *Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*, 6(1), 38-46.
- TS 266, (2005). İnsani tüketim amaçlı sular hakkında yönetmelik, sular-içme ve kullanma suları, Türk Standartları Enstitüsü No: TS 266, Ankara.
- USEPA (U.S. Environmental Protection Agency), (2004). Global Program of action, Why the Marine Environment Needs Protection From Heavy Metals UNE/GPA Coordination office. Retrieved from: [http://www.oceansatlas.org/unatlas/uses/unep textsph/wastesph/260\\_2\\_gpa.2004](http://www.oceansatlas.org/unatlas/uses/unep textsph/wastesph/260_2_gpa.2004)
- Ustaoglu, D., Terzioğlu, K., Türe, H., Yılmaz, E., ve Tunca, E., (2015). Sucul ortamlardaki bakırın (Cu), su mercimeği (*Lemna minor* Linneaus 1753) ile fitoremediasyonu. *Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 5(2), 10-22.
- Ustaoglu, F., Tepe, Y., ve Taş, B., (2020). Assessment of stream quality and health risk in a subtropical Turkey river system: A combined approach using statistical analysis and water quality index. *Ecological Indicators*, 113, 105815.
- WHO (World Health Organization), (1992). Our planet, our health, Report of the WHO comission on health and environment World Health Organization, Geneva, 2. Retrieved from: <http://www.who.int/en/>
- Yalçın, H., ve Gürü, M., (2002). *Su Teknolojisi*. Ankara: Palme Yayıncılık.
- Yılmaz, M., Kara, İ. H., Poyraz, B., ve Mayda, A. S., (2014). Konuralp Beldesi'nde içme sularının elementer analizi ve içerdiği ağır metaller: Şebeke suyu, doğal kaynak suyu ve zezem suyunun karşılaştırılması. *Konuralp Tıp Dergisi*, 6(3), 54-58.

## Enhanced Area Defense: Magnetic Launcher and Sensor Integration

Furkan Muhammed KIRIKCI<sup>1\*</sup>, Hakan KAHVECİ<sup>2</sup>, Ömür AKYAZI<sup>3</sup>

### Abstract

In this article, the most appropriate design method for a field defense system that operates with magnetic field laws by taking audio and video signals as reference is described. The study is important because it eliminates the operator (soldier) factor in the battlefield. Taking into account the effect of capacitor voltage, capacitance value and accelerator winding inductance value, the main criteria for determining the power supply and armature structure of the electromagnetic launcher are proposed. This proposal is made with MATLAB/Simulink software based mathematical model and the differences are explained by comparing with ANSYS Maxwell simulation. The simulated results show that the speed difference between the models is 7%. Additionally, the design methods of the audio and video-based positioning systems that control the system are explained in the study. In this system where signal receiving microphones are positioned in triangular form, a linear algorithm using the time difference method is utilized. By comparing the theoretical mathematical model with the experimental simulation model, the accuracy of the method and the method function is proved. In this study, a deep learning-based target detection system that operates with the YOLO v2 algorithm is used to increase the system's mission execution capacity. The operator is eliminated by switching the system with the signal received from the positioning systems.

**Keywords:** Electromagnetic launcher system, Acoustic positioning system, Area defense system, Coil gun, ANSYS maxwell analysis.

## Güçlendirilmiş Alan Savunması: Manyetik Fırlatıcı ve Sensör Entegrasyonu

### Öz

Bu makalede ses ve görüntü sinyallerini referans olarak manyetik alan kanunları ile çalışan alan savunma sistemi için en uygun tasarım yöntemi anlatılmaktadır. Yapılan çalışma sahadaki operatör (asker) faktörünü kaldırdığından dolayı önem arz etmektedir. Kondansatör gerilimi ve sığa değeri ile ivmelendirici sargı endüktans değerinin etkisi dikkate alınarak, elektromanyetik fırlatıcının güç kaynağı ve armatür yapısını belirlemek için temel kriterler önerilmiştir. Bu önerme MATLAB / Simulink yazılım tabanlı matematiksel model ile yapılmış olup, ANSYS Maxwell benzetimi ile karşılaştırılarak oluşan farklılıklar açıklanmıştır. Benzetim sonuçları, modeller arasındaki hız farkının %7 olduğunu göstermektedir. Ayrıca çalışmada sistemin kontrolünü sağlayan ses ve görüntü tabanlı konumlandırma sistemlerinin tasarım yöntemleri anlatılmaktadır. Sinyal alıcı mikrofonların üçgensel formda konumlandırıldığı bu sistemde zaman farkı yöntemini kullanan lineer algoritma kullanılmıştır. Oluşturulan teorik matematiksel model ile deneysel benzetim modeli karşılaştırılarak kullanılan yöntem ve aracı olan fonksiyonun doğruluğu ispatlanmaktadır. Çalışmada sistemin görev gerçekleştirme kapasitesini artırmak için derin öğrenme tabanlı YOLO v2 algoritması ile çalışan hedef tespit sistemi kullanılmaktadır. Konumlandırma sistemlerinden alınan sinyal ile sistem üzerinde anahtarlama yapılarak operatör faktörü aradan çıkarılmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Elektromanyetik fırlatıcı sistem, Akustik konumlandırma sistemi, Alan savunma sistemi, Bobin silahı, ANSYS maxwell analiz.

<sup>1,2</sup>Karadeniz Technical University, Department of Electrical and Electronics Engineering, Trabzon, Türkiye, mfurkankirikci@ktu.edu.tr hknkahveci@ktu.edu.tr

<sup>3</sup> Karadeniz Technical University, Department of Energy Systems Engineering, Trabzon, Türkiye, oakyazi@ktu.edu.tr

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 13.02.2024

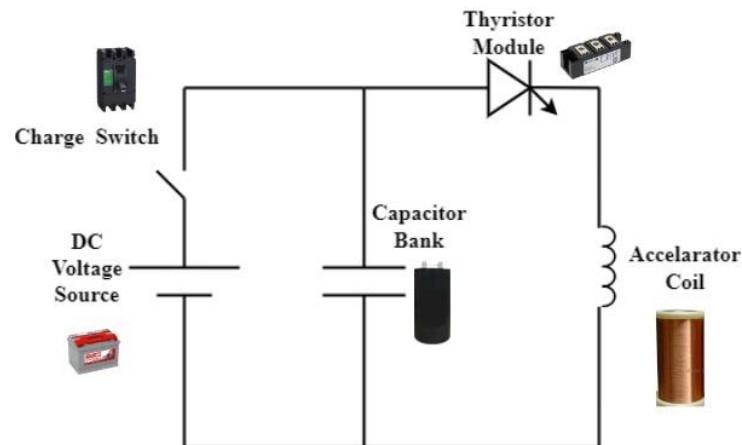
Kabul/Accepted: 29.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Introduction

Since the first war in the history of the world, systems of warfare have evolved from muscle power to chemical interaction, and today have reached a new stage of evolution with electrical interaction. The electromagnetic launcher systems that emerged in this stage of evolution throw low or high mass objects with electromagnetic force, independent of chemical reactions in the sectors of defense and transportation. This evolution is changing the paradigms of warfare and transportation technologies, offering more efficient, quiet, reliable, economical and sustainable solutions.

Electromagnetic launcher systems have potential use in the defense industry and have a structure without electrical and physical contact between the pulse power module and the armature circuit (Baharvand et al., 2021). Electrification of weapons minimizes recoil force and explosion signs of the projectile, while enhancing the initial speed of the projectile and making ammunition storage and transportation processes more advantageous due to the absence of gunpowder (Praneeth et al., 2022). The historical origin of the coil gun, which is the focus of this study, begins with the "SIVA" gun developed by Benningfield in the United States in 1844 (McNab, 1999). Theoretically, the fact that there is no limit to the speed of movement of the electromagnetic field means that there is no speed limit for the accelerated object. This makes electromagnetic launcher systems interesting and capable of being developed. The circuit of the winding type electromagnetic launcher is given in Figure 1.



**Figure 1.** Winding Type Electromagnetic Launcher Model

Since there is high current or voltage in electromagnetic launcher systems, thyristors are preferred in semiconductor switch selection (Akyazı et al., 2015). In the circuit in Figure 1, when the thyristor is in cut-off mode, the charge switch is turned off at  $t = 0$  and the charge is stored in the capacitor bank with the voltage change according to equation 1. The  $C$  value in the equation is the capacitance value of the capacitor as "Farad".

$$i_C = C \cdot \frac{dV_C}{dt} \quad (1)$$

After  $t = 0$ , the thyristor is switched to conduction mode by using a current triggered signal. This signal is generated by the visual (image) and acoustic (sound) detection systems within the area defense system. When the thyristor switches to conduction mode, a high current change occurs on the accelerator winding in a short time according to equation 2. Here  $L$  is the inductance value of the coil as "Henry". The amount of energy stored in parallel connected capacitor groups at  $t = 0$  is given in equation 3.

$$V_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} \quad (2)$$

$$E_C = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 \quad (3)$$

When equations 1, 2 and 3 are analyzed, it is seen that the voltage applied to the capacitor bank and the capacitance value must be high in order for an electromagnetic launcher system with an accelerator winding to fire at high speeds. In addition, it is important that the damping process on the coil is completed as quickly as possible. The main purpose of these systems is to achieve high current changes on the coil.

Thanks to the current change occurring on the cylinder wound coil, a magnetic field whose amplitude changes over time is obtained. The projectile in the cylinder, which has a high magnetic permeability, moves by following the point where the field is strongest. As the projectile moves, the reluctance of the system will change until it reaches a minimum reluctance value (for a given flux level) when the center of the projectile intersects the center of the coil (Bresie, 1991).

The electromagnetic launcher system in Figure 1 is considered as a simple RLC circuit. Therefore, although the launch speed is theoretically infinite, there are limiting factors. In order to efficiently convert the electrical charge into a magnetic field, the RLC circuit parameters must be accurately calculated. In addition, the triggering time needs to be set to half a period due to the reverse force acting on the projectile after the midpoint of the winding (Wang et al., 2016). Since the performance of electromagnetic launcher systems is directly proportional to the current damped on the coil element, the resonant state should be taken as the lowest value of the system reactance.

The current damped on the coil must be in only one direction, otherwise the acceleration of the projectile may decrease or the launch may not be realized due to the reverse force applied by the coil. Therefore, critical damping must occur on the RLC circuit (Kırıkçı, 2023).



The parameters to be considered in the design of the electromagnetic launcher according to the resonance state are the damping period in equation 4, the damping resistance in equation 5 and the energy consumed on the coil due to damping in equation 6 (Akyazi, 2006). The peak value of the damping current in equations 2 and 6 is given in equation 7.

$$T = \pi \cdot \sqrt{L \cdot C} \quad (4)$$

$$R^2 = \frac{4L}{C} \quad (5)$$

$$E_L = \frac{1}{2} \cdot L \cdot i^2 \quad (6)$$

$$I_{max} = \frac{V_0}{e} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} \quad (7)$$

In the analysis of electromagnetic launcher systems, the magnetic circuit must be taken into account as well as the electrical circuit. The magnitude and direction of the magnetic field and the size of the projectile to be used affect the value of the electromagnetic force. In addition, in a paper in the literature (Sari, 2023), a proposal is presented to increase the system efficiency by modifying the projectile starting position and size. In another study (Su et al., 2021), the effect of coil positions and distance between coils on the system efficiency of a launcher with multiple accelerator coils arranged in series is evaluated. At the same time, the inductance value of the accelerator winding should be designed in accordance with the system geometry and current parameters (Fan et al., 2020).

Reluctance accelerators have been documented as relatively inefficient devices with efficiencies of ~2% for optimized systems (Slade, 2005). Although there is no theoretical speed limit, system efficiency has remained at low reference values in the literature. This study was done to determine the optimal design suggestions for an electromagnetic launcher system in an area defense system. For the design suggestions, mathematical models in the literature were reviewed and our own model was created in MATLAB / Simulink simulation environment. However, in order to determine the accuracy of this model, a comparison was made with the same parameters in ANSYS Electronics simulation environment including Maxwell's laws.

As a result of the chemical reaction in firearms, high intensity sound and shock waves are generated in the barrel. Acoustic-based positioning systems are mission mechanisms that receive sound and shock waves and perform target detection using signal processing methods. The system is usually used by placing at least four sensitive microphones in a predetermined geometry, camouflaged and protected. Studies on acoustic positioning in Türkiye have only recently started



(Özüğür et al., 2016). Today, considering the geographical location of our country, it is of great importance to protect borders, outposts and military areas and to provide tactical strategy superiority with these systems.

When the system is designed on a product basis, if it is to be positioned at long distances on the coordinate axis, axial positioning according to the center must be done very well. For all these calculations to be done correctly, the structure of the sound, the characteristics of the microphones to be used, the mathematical model, the signal processing technique, the arrival difference method and the position determination issues must be considered effectively. In this study, the mathematical model of the system together with the defense system is presented.

YOLO (You Only Look Once) algorithm was used for image analysis in the area defense system. YOLO is fast because it performs object detection in a single analysis. This algorithm divides the image into bounding boxes, analyzes the presence of objects within these boxes and increases the accuracy rate by using confidence scores. The Non-Maximum Suppression algorithm selects bounding boxes with high confidence scores and includes them in the dataset. This method provides an effective object detection by increasing the accuracy rate (Jiang et al., 2022).

In this study, a model of a field defense system operating with magnetic field laws is designed in which a projectile is fired by switching method with reference to audio and video signals. The proposed design criteria for the accelerator wound coil weapon can play a key role in determining the power supply and armature structure of these systems. This focus on the design of electromagnetic launcher systems aims to minimize the impact of the operator factor by increasing system efficiency.

In the literature section, studies on electromagnetic launcher systems are tabulated in chronological order. The table also indicates the parameter changes made to increase the efficiency of the launcher systems. In the materials and methods section, mathematical expressions of the models designed in MATLAB and ANSYS simulation environments and comparison scenarios are given. In the findings section, the results obtained according to the comparison scenarios are shared on the same graph. In the results section, the design criteria are shared in bulleted form.

## **2. Literature Survey**

The first scientific study in history was done by Dr. Charles G. Pages in Washington, D.C. in 1845 (Pages, 1845). Later, "Birkeland's Electromagnetic Gun: A Historical Review" by Kristian Birkeland in Norway in the early 1900s is an important milestone in the literature (Egeland, 1989).

During World War I, in 1916, Fauchon-Villeplee's work was published in book form (Fauchon, 1920). This source describes the principles of the DA rail-type electromagnetic launcher.

Engel and his colleagues designed a rifle-caliber and barrel-type electromagnetic launcher in 2001. They obtained 15 kA at the barrel with a charging voltage of 450 V and measured the speed of a 1-gram projectile weighing 450 m/s leaving the rails (Engel et al., 2001). In Table 1, examples of parameter modification studies on the current mathematical model of electromagnetic launcher systems are given chronologically.

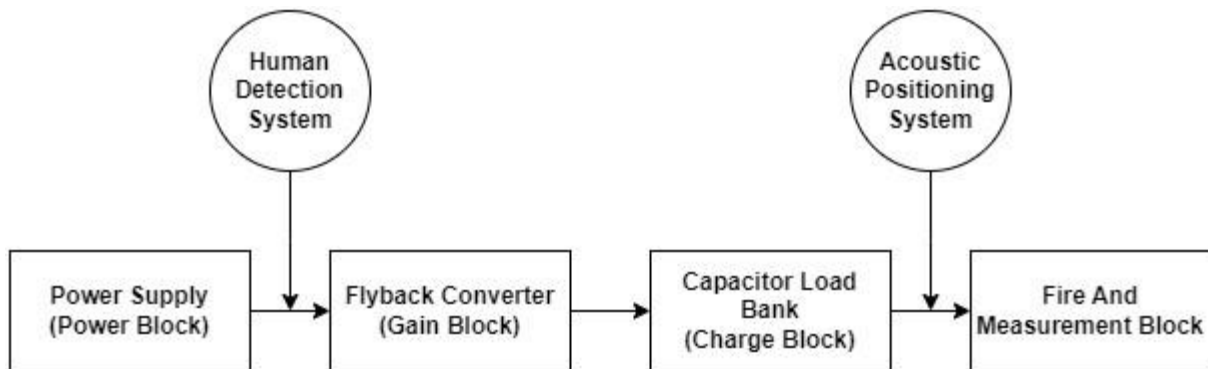
**Table 1.** Studies in the Literature

Reference	Year	Product Type	Design Criteria	Speed (m/s)
(Ege et all.)	2016	Wrapped	Coil Trigger Time	1,75
(Wang et all.)	2016	Wrapped	Coil Trigger Time	32,4
(Dong et all.)	2018	Series Wrapped	Number of Armatures - Capacitor Parameters	814
(Fan et all.)	2020	Wrapped	Energy Impact Method - Armature Structure	360
(Liang et all.)	2021	Wrapped	Damping Resistance	27.4
(Lu et all.)	2022	Wrapped	Simulation Model	7 - 8
(Zhao et all.)	2023	Wrapped	Improved Power Supply	19.8
(Wan et all.)	2023	Rail	Cooling Type	-
(Abdo et all.)	2023	Wrapped	Reluctance-Charge Voltage	14.9

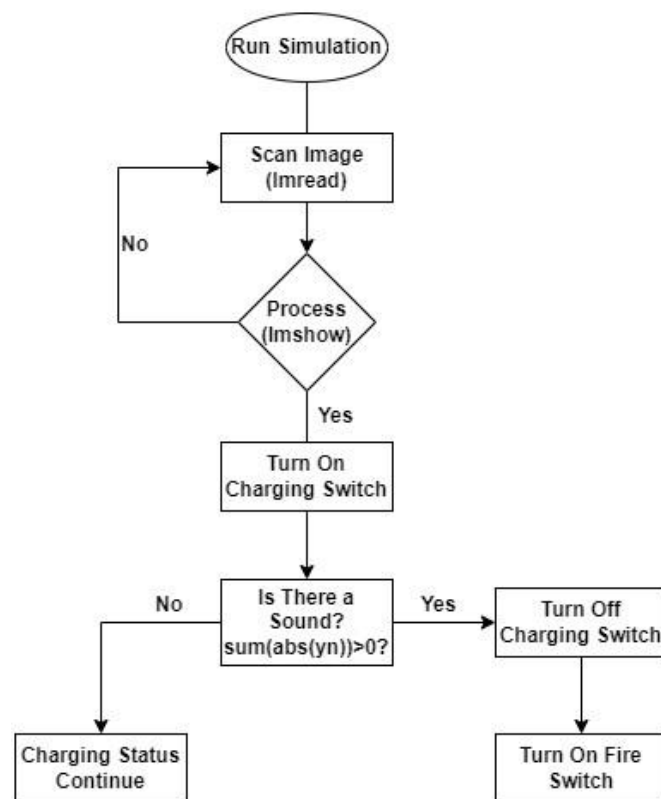
### 3. Materials and Methods

In this section, the design of the model with parameter changes and the two models that provide switching will be explained. Three different simulation programs MATLAB / Simulink, Audacity and ANSYS Electronics Maxwell were used in the design phase of the model. The main schematic of the designed model is presented in Figure 2 and the flowchart showing the operation of the system is shown in Figure 3. The power stage, voltage gain stage, firing stage and measurement block of the system were simulated in MATLAB / Simulink software environment. In addition, the human detection and acoustic positioning system is modeled in MATLAB / m-file simulation environment. In the last scenario, a design was created on ANSYS Maxwell to determine the model accuracy.

According to the flowchart in Figure 3, the system first performs human detection with the target detection algorithm. In case of human detection, the system (charge) switch on the system is activated and the voltage value of the capacitors in the load bank is adjusted to the voltage value determined at the converter output. When sound signals are detected in the acoustic positioning system, a shot is fired.



**Figure 2.** Electromagnetic Launcher System Model



**Figure 3.** Electromagnetic Launcher System Model Operation Plan

### 3.1. Electromagnetic Launcher System Simulation Model

In this section, the system modeled in MATLAB / Simulink simulation environment to determine the parameters affecting the performance of electromagnetic launcher systems is given in Figure 4. The system consists of a DC voltage source, a flyback converter that provides voltage gain, a firing model that performs the acceleration task, in addition to target and asset detection systems that generate switching signals.

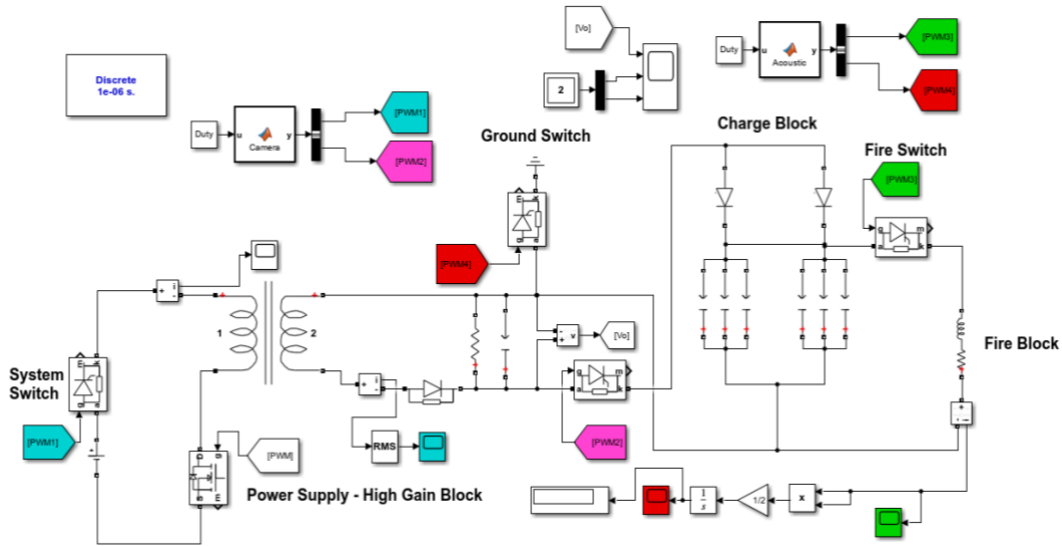


Figure 4. Electromagnetic Launcher System Simulink Simulation Model

### 3.1.1. Flyback Charge Circuit Model

In electromagnetic launcher systems, there are two independent cycles, charge and discharge. Voltage gain directly affects the system performance and can be achieved by different methods. Generally, voltage adjustment is possible using power supplies fed from AC sources; however, the requirement for the launcher systems to be portable may reduce the possibility of the system to perform the mission. For this reason, it is thought that the use of direct current (DC) sources may be more appropriate in electromagnetic launchers with destructive tasks.

Due to the design difficulties of the DC-DC boost converter and the power losses that occur in flyback converter, it is not considered suitable for this field. It can be realized with a classical Flyback converter, which is a low-cost and reliable system with no electrical connection between input and output. The general circuit topology of a Flyback converter is presented in Figure 5.

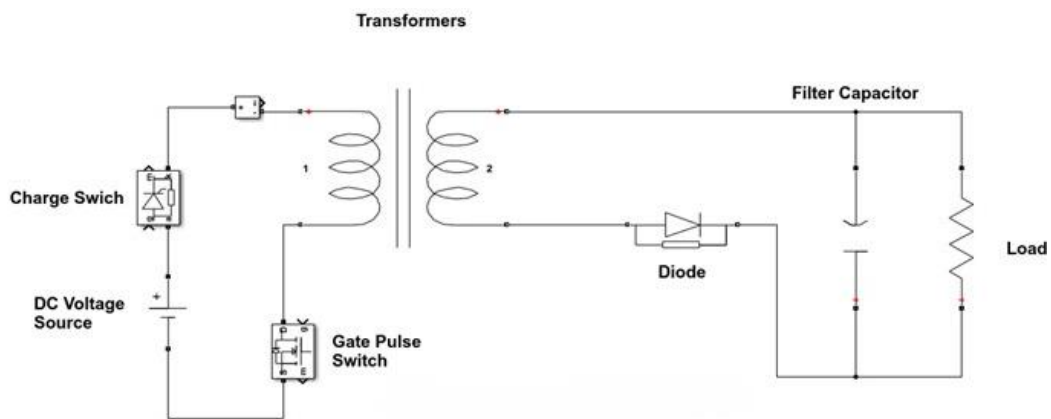


Figure 5. Flyback Converter General Circuit Topology

Flyback converters have continuous current and discontinuous current modes depending on the value of the magnetic field energy of the transformer. In continuous current mode, the current on the inductance and therefore the magnetic field never goes to zero. In order not to stop the charging current of the capacitors on the system, continuous current operation mode is preferred and the parameters are set according to this mode.

In the conduction mode of the MOSFET in the converter, the DC source is connected to the primary terminals of the transformer and the input voltage and the primary voltage are equal to each other. The relation in equation 2 gives the value of the voltage induced in the transformer in the flyback converter. The relation of the unit time changes in equation 2 is given in equation 8.  $D$  in the equation gives the fill rate of the gate signal applied to the MOSFET and  $T$  gives the switching period.

$$\Delta t = D.T \quad (8)$$

Using the relations in equations 2 and 8, the relation of the current change on the coupling element is given in Equation 9.

$$\Delta i_L = \frac{V_1 \cdot D \cdot T}{L} \quad (9)$$

It is seen in the literature that the current ripple on the transformer with coupling element is accepted as 40% of the coil current in continuous current operation mode. If the inductance value ( $L$ ) of the transformer with coupling element is calculated from equation 9, equation 10 is obtained. Here  $f$  is the switching frequency value of the MOSFET.

$$L = \frac{V_1 \cdot D}{\Delta i_L \cdot f} \quad (10)$$

It is very important to determine the correct winding ratio of the coupled transformer in the converter. The ideal ratio is determined from equation 11 to provide the desired voltage gain at high switching frequency and to avoid long-time high current draw on the transformer.  $N_2$  and  $N_1$  symbolize the number of turns of the transformer.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_{out}}{V_{in}} \cdot \frac{(1-D)}{D} \quad (11)$$

If the MOSFET operates in conduction mode, the output load will be fed by the load stored in the capacitance. Therefore, when determining the capacitance value in the design, it should be selected large within the appropriate values. Another consideration when determining the capacitance

value is the voltage ripple factor. Depending on the voltage ripple value during the design phase, the capacitance (C) value is determined from equation 12. The parameter selection of the field defense system with detailed parameter equations is obtained from the relevant relation (Kırıkçı, 2023).

$$\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} = \frac{D}{R \cdot C \cdot f} \quad (12)$$

The converter parameters of the scenarios considered in this paper are presented in detail in Table 2.

**Table 2.** Flyback Converter Parameters

	Flyback Converter Circuit Parameters	
	Situation (1)	Situation (2)
Input Voltage (Volt)	24	24
Output Voltage (Volt)	140-150	235-250
Capacitance (Farad)	$4.5 \times 10^{-4}$	$4.3 \times 10^{-4}$
Resistance (Ohm)	200	335
Inductance (Henry)	$4.965 \times 10^{-3}$	$2.757 \times 10^{-3}$
Inductance Ampere (Amper)	7.25 - 7.5	12.5
Power (Watt)	98-113	172-187
Turns Ratio ( $N_1/N_2$ )	4	7
Switch Voltage Value ( $V_{DS}$ )	65	65

### 3.1.2. Fire Circuit Model

It is the model that performs the firing process by damping the energy stored at the terminals of the load bank on the coil. The parameters of the firing model were calculated based on equations (1-7). During the setting up of the firing scenarios, the damping resistance value given in equation 5 plays a critical role in determining the parameters. The inductance value of the accelerator winding in the firing model is derived from equations 4, 5 and 7. In order to interpret the order of determination of the parameters and their effect, firing scenarios were created on the system.

In these scenarios, the capacitor voltage, capacitance value and the inductance value of the accelerator winding will be changed respectively. Additionally, the firing in the last scenario will be performed in two different simulation programs in order to comment on the speed calculations based on the mathematical model in the literature. The parameter data of the scenarios are given in tables 3, 4, 5 and 6.

**Table 3.** First Scenario Fire Model Parameters

Scenario (1)		
Parameters	Situation (1)	Situation (2)
Capacitance Voltage (Volt)	145	238
Capacitance (Farad)	$150 \times 10^{-3}$	$150 \times 10^{-3}$
Resistance (Ohm)	$45 \times 10^{-3}$	$45 \times 10^{-3}$
Inductance (Henry)	$75 \times 10^{-6}$	$75 \times 10^{-6}$
Firing Period (ms)	11	11

**Table 4.** Second Scenario Fire Model Parameters

Scenario (2)		
Parameters	Situation (1)	Situation (2)
Capacitance Voltage (Volt)	145	85
Capacitance (Farad)	$150 \times 10^{-3}$	$1500 \times 10^{-3}$
Resistance (Ohm)	$45 \times 10^{-3}$	$14.1 \times 10^{-3}$
Inductance (Henry)	$75 \times 10^{-6}$	$75 \times 10^{-6}$
Firing Period (ms)	11	33

**Table 5.** Third Scenario Fire Model Parameters

Scenario (3)		
Parameters	Situation (1)	Situation (2)
Capacitance Voltage (Volt)	145	145
Capacitance (Farad)	$150 \times 10^{-3}$	$150 \times 10^{-3}$
Resistance (Ohm)	$45 \times 10^{-3}$	$141 \times 10^{-3}$
Inductance (Henry)	$75 \times 10^{-6}$	$750 \times 10^{-6}$
Firing Period (ms)	11	33

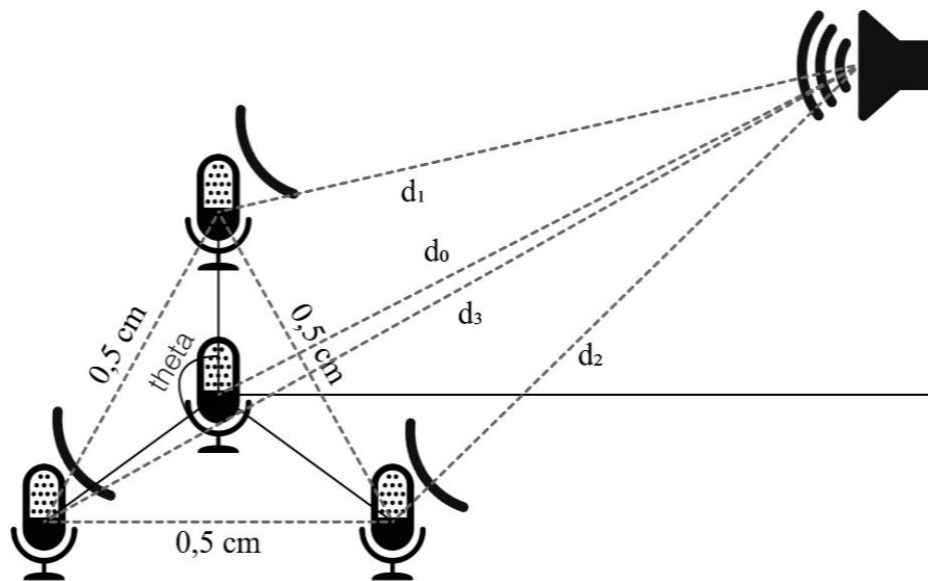
**Table 6.** Fourth Scenario Fire Model Parameters

Scenario (4)		
Parameters	Situation (1)	Situation (2)
Capacitance Voltage (Volt)	5000	5000
Capacitance (Farad)	$1.2 \times 10^{-3}$	$1.2 \times 10^{-3}$
Resistance (Ohm)	0.2	0.2
Inductance (Henry)	$12 \times 10^{-6}$	$12 \times 10^{-6}$
Firing Period (ms)	0.75	0.75

### 3.1.3. Acoustic Positioning System Model

This model uses a time-differential linear algorithm for location detection based on the presence of sound. Various combinations of microphones in various geometric shapes can be placed around a

reference microphone to detect the sound signal (Cakir et al., 2012). There are three microphones placed in a triangular position in a circle around the reference microphone. As these microphones are positioned at oblique angles relative to the reference microphone, they must be positioned using a carefully designed stabilization system. Millimetric errors can degrade the position accuracy at large distances from the reference coordinate axis. Furthermore, considering the cost of the system, increasing the number of condenser microphones with wide dispersion can have a negative impact on cost. Therefore, it is important to keep the number of microphones to be used in the system to a minimum and to choose the right geometry. Figure 6 shows the geometrical plan of the system.



**Figure 6.** Acoustic Positioning System Model

In order to model the acoustic positioning system experimentally in the mfile simulation program, the mathematical model of the system should be created with geometric calculations in the theoretical part and the experimental part should be started by creating sound recordings with these calculated parameters. Figure 7 shows the flowchart for the theoretical part. In this section, the distance of the audio signals to be created in Audacity from the microphones is calculated. For this, the target is assumed to be predetermined.

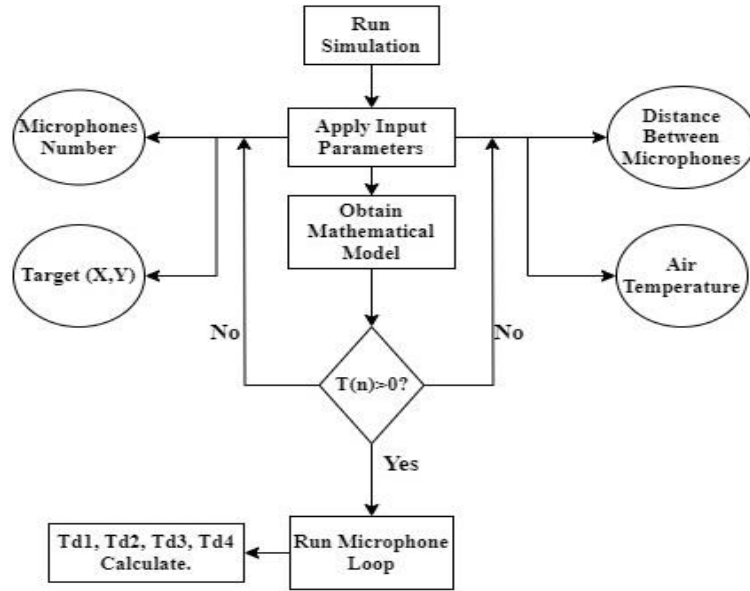
In the acoustic positioning system created in Figure 6, the attack is assumed to come from the 1st region (northeast). There is one reference microphone at the center point of the coordinate axis and three microphones in a triangular position. The distances between the microphones and the sound are symbolized as  $d(n)$ . The positions of the microphones are found from equations 13, 14 and 15.

$$\theta = \frac{360}{M_{microphone} - 1} \quad (13)$$



$$\beta = \frac{180 - \theta}{2} \tag{14}$$

$$r_{real} = \frac{a}{2 \cdot \cos^{-1}(\beta)} \tag{15}$$



**Figure 7.** Acoustic Positioning System Theoretical Flowchart

$\theta$  symbolizes the dispersion angle of the microphones,  $a$  symbolizes the distance between microphones and  $\beta$  symbolizes the angle of the microphones with the coordinate axes as shown in Figure 6. The real radius is the radius of the circle in which the microphones are positioned, that is the distance between the reference microphone and the microphones. In Equations 16, 17 and 18, the distance of the microphones to the sound source, the distance difference to the reference microphone and the time difference are given, respectively.

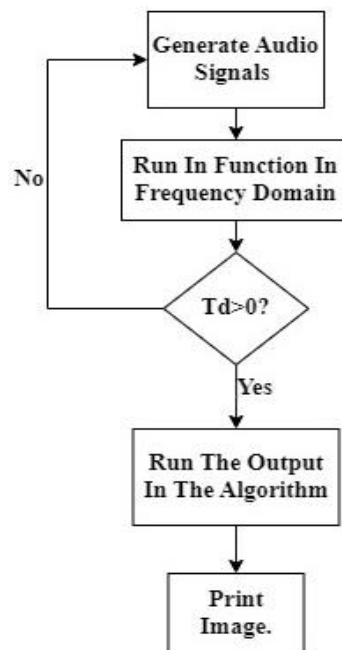
$$d(n) = \sqrt{(x_{sound} - x_{microfone})^2 + (y_{sound} - y_{microfone})^2} \tag{16}$$

$$T(n) = d(\text{reference}) - d(n + 1) \tag{17}$$

$$t_{difference} = \frac{T(n)}{\text{Sound Speed}} \tag{18}$$

After the time difference between the microphones is found in equation 18, the time difference between the audio signals is created in the Audacity program (Kırıkçı, 2023). After the audio signal

files are created, the experimental flow diagram of the acoustic positioning system given in Figure 8 can be applied.



**Figure 8.** Acoustic Positioning System Experimental Flowchart

As a result of the chemical reaction, two signals, sound and shock waves, are generated in the barrel. Shock waves are more accurate in determining the projectile direction that is, the angle of the projectile, while the muzzle sound is more accurate in determining the target position. Therefore, target detection is easier when both are used (Kaushik et al., 2005).

The algorithm makes calculations based on the sound recordings from the four microphones used in the system. In MATLAB, the sampling value and the intensity value of the sound will be taken from this recording and the signal will be associated with the cross-correlation function (Urruela et al., 2006).

The cross-correlation function is a function that is widely used for signal processing in location detection applications. The fourier transforms of the cross-correlation function are given in equations 19 and 20.

$$R_{12}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} g_1(\tau) \cdot g_2^*(t - \tau) \cdot dt \quad (19)$$

$$R_{21}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} g_2(\tau) \cdot g_1^*(t - \tau) \cdot dt \quad (20)$$

In Equation 19,  $g_1(\tau)$  is the Fourier transform of the reference microphone and  $g_2^*(t - \tau)$  is the Fourier transform of the delayed sound of the same length. After taking the conjugate of the delayed audio signal and multiplying it by the first audio signal, the inverse Fourier transform of the resulting values are taken and then the values in the frequency domain are converted back to the time domain. During this multiplication process, each sample of the second audio matching the first audio is multiplied individually to determine the position where the maximum amplitude occurs. Therefore, the position that maximizes  $R_{12}(\tau)$  indicates the amount of delay for us.

As in the theoretical process, the time differences obtained as a result of the function are multiplied by the speed of sound to calculate the distance differences. In order to determine the target experimentally, these distance differences need to be processed in the algorithm with a time difference method based on geometric calculations. As a result, both theoretical and experimental working methods are applied in the model and the acoustic positioning system is built by establishing a relationship between these two models. The output results of the model will be shared in the findings section. Since the outputs of the designed model are directly transferred to the Simulink simulation interface, switching is done on the system depending on the (y) value indicating the intensity of the sound, which is the result of the cross-correlation function.

### 3.1.4. Image Processing System Model

In the electromagnetic launcher model, a continuous connection from the power supply to the charging circuit leads to a reduction in the lifetime of the power source. Since a DC source is used, it is important that the source voltage does not drop below 70%. Therefore, switching is required at the input of the system. The system switching will be done with the YOLO (You Only Look Once) algorithm available in MATLAB and image processing technique will be used.

The YOLO v2 object detector was chosen as the analyzer used in MATLAB / Mfile. The image size provided as input to the system must be equal to or larger than the neural input size of the pre-trained detector. The image's pixel height (H), pixel width (W), channel size (C) and number of images in the array (B) parameters need to be optimized.

It has been determined that YOLO performs real-time object detection faster than other algorithms. The main reason for this faster performance is that it can instantly evaluate the class and coordinates of all objects by passing the image through neural networks in a single pass. This process is based on treating object detection as a single regression problem (Jiang et al., 2022).

For human detection, the image presented to the system is first divided into an SxS grid. Each grid determines the presence of a human, its midpoint if it exists, its length and height if it is within

the midpoint, and which class it belongs to. Then, a prediction vector is created for each grid and the error functions for each are evaluated.

In order to classify the image provided as input and obtain the accuracy value, the algorithm needs to be processed on the system. For this process, the "[bboxes, scores]" loop is used in MATLAB (Dalal et al., 2005).

Once the image is suitable for the algorithm, a loop must be created to output the histogram values and process these values. The processing of the image into the algorithm is performed using the "visualization" command. The function "[hog1, visualization]" can be used for object detection based on histogram values.

### 3.1.5. Speed Measurement Model

The conversion of electrical energy into magnetic energy is realized in the firing model. The potential energy stored in the capacitors is transformed into magnetic energy on the coil. Equations 3 and 6, respectively, express the potential energy relations on the capacitor and the coil. The potential energy, indicated as the initial energy, is transformed into the kinetic energy form in equation 21. Likewise, the projectile speed is obtained by converting the coil energy expressed in equation 6 into the kinetic energy form in equation 21. Using these equations, a speed measurement model was created using MATLAB/Simulink.

$$E_{kinetic} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad (21)$$

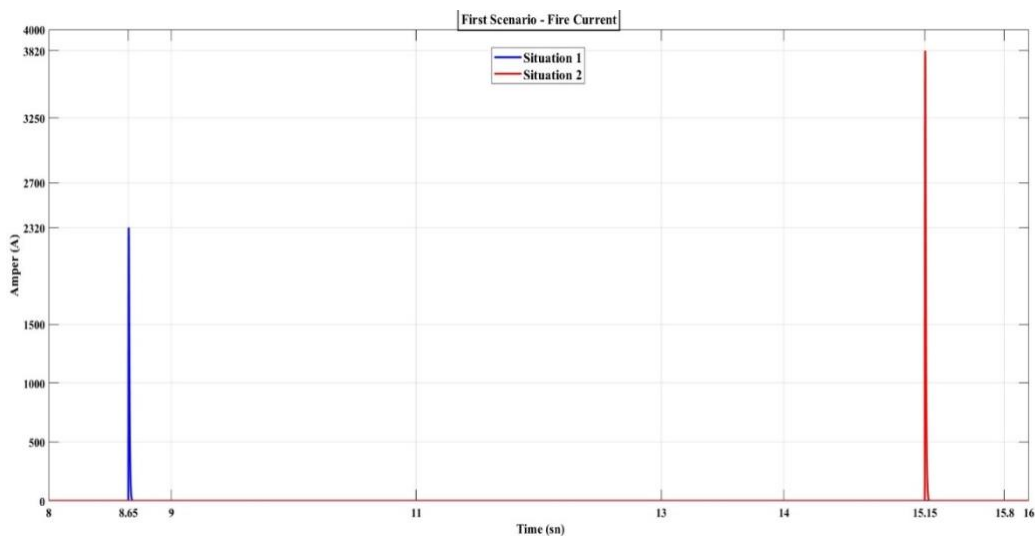
Electromagnetic launcher systems can not transfer all of the initial energy to the projectile as kinetic energy. Losses occur in the system due to electrical losses in the circuit elements in the firing model and leakage fluxes in the winding model. When the relevant studies in the literature are examined, it is observed that the system efficiency is generally between 1% and 5% in low power applications ( $\leq 10\text{kW}$ ) (Inger, 2023).

## 4. Findings

In this section, the results of the modeled electromagnetic launcher system in MATLAB / Simulink and ANSYS Maxwell simulation program and the outputs of the target and human detection algorithm will be shared. The system parameters are determined according to Equation (1-20) in the paper. Simulation times were selected depending on the desired parameter changes in the scenarios.

#### 4.1. First Scenario Results

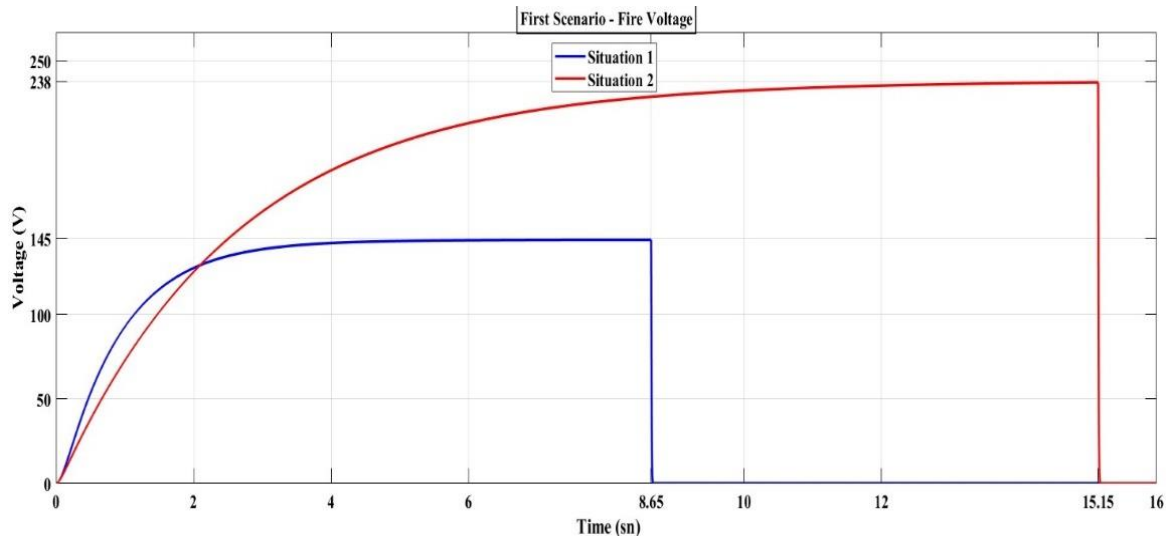
In this scenario, the charging voltage value of the capacitors is increased from 145 Volts to 238 Volts, keeping all parameters constant. An analysis on the effect of the voltage value on the firing theory will be carried out. Due to the low power converter in the power stage, an increase in the charging time is expected if the capacitor charging voltage is increased. Simulation was performed by adapting the charging time required for the capacitors. Figure 9 shows the damped current graph on the coil.



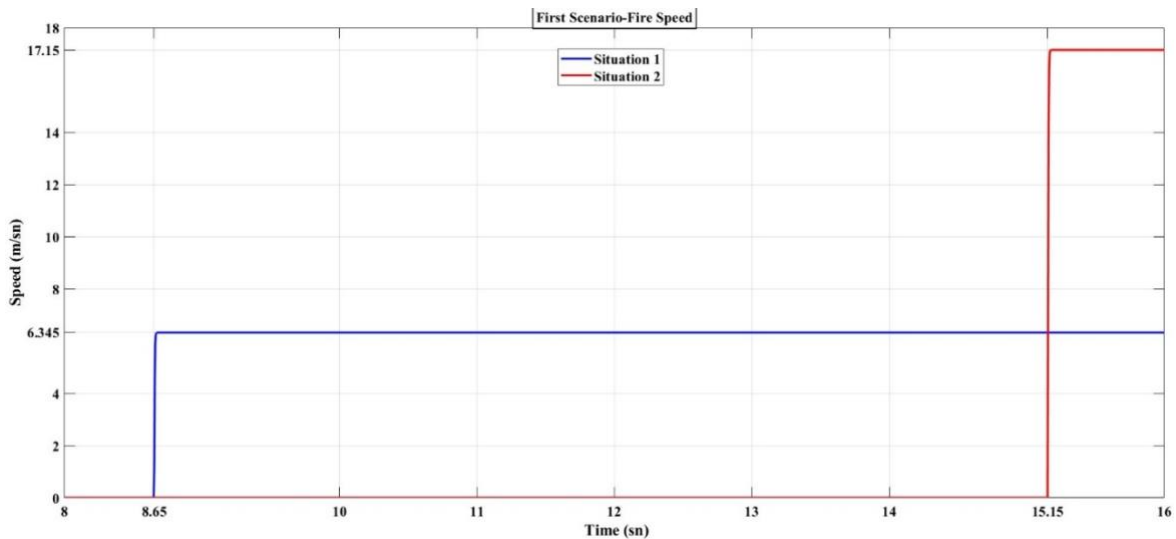
**Figure 9.** Scenario 1 – Firing Current Graph

When the voltage value of the capacitors increases, the peak value of the current observed on the coil increases from 2320 A to 3820 A. As the peak value of the current damped on the coil increases, according to equation 6, the coil energy is expected to increase and accordingly the speed is expected to increase. Figure 10 shows the charge-discharge curves of the situations and Figure 11 shows the graphs of the projectile speed.

When the voltage value of the load bank is increased from 145 V to 238 V, the potential energy at the capacitor terminals will increase and an increase in the coil energy will be observed. As a result, the projectile speed will increase from 6.345 m/sec to 17.15 m/sec as shown in the graphs. Considering equations 1, 2, 3, 6 and 7, the efficiency comparison between situations 1 and 2 for a 1-gram projectile shows that a voltage increase of 65% at low voltage levels leads to a 2.2% point increase in system efficiency.



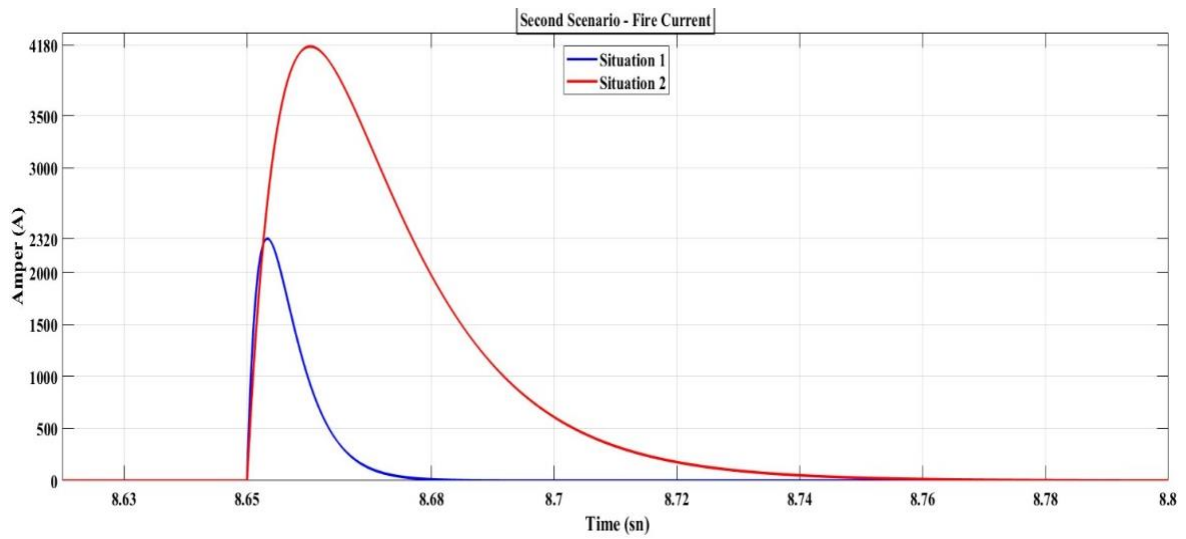
**Figure 10.** Scenario 1 – Firing Voltage Graph



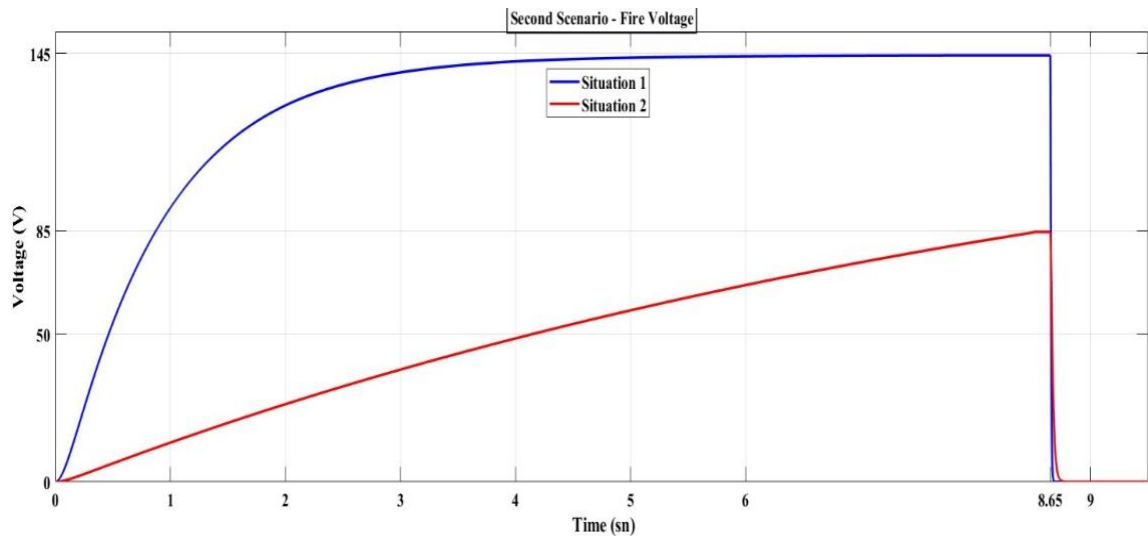
**Figure 11.** Scenario 1 – Firing Speed Graph

## 4.2. Second Scenario Results

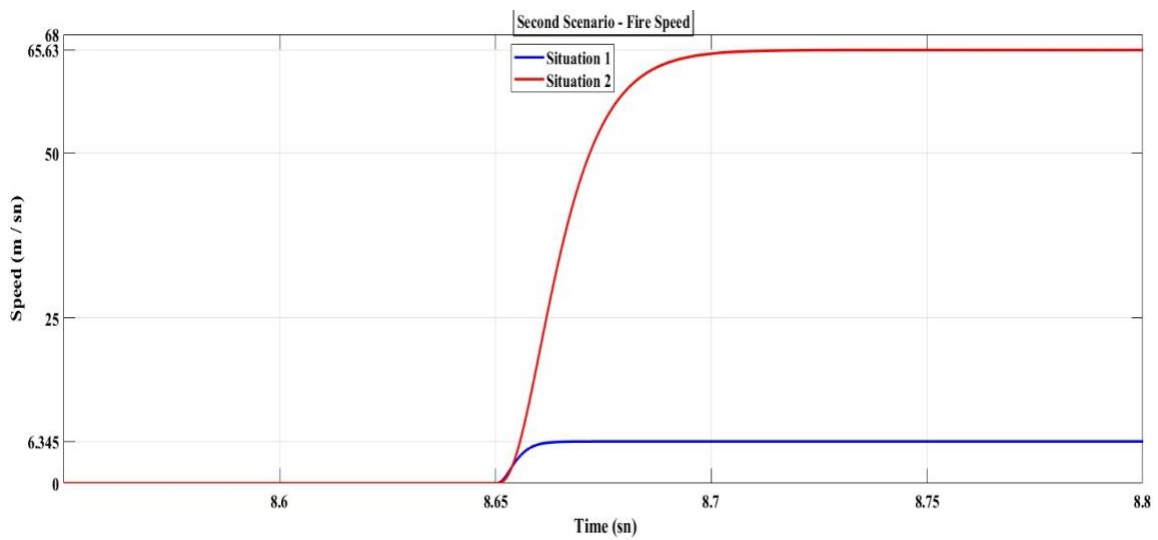
In this scenario, the equivalent capacitance of the load bank is increased by a factor of 10. Depending on the change of the capacitance value, the damping resistance value in the critical damping state is also selected. Charging time will be kept constant in situation 1 and situation 2. As the capacitance value of the capacitors increases within the constant time, the charging voltage value will decrease. In this scenario, the change in system efficiency depending on the ratio of increase in capacitance value to decrease in voltage value will be analyzed. Figure 12 shows the damped current graph on the coil. Figures 13 and 14 show the capacitor charging voltages and projectile speed values respectively.



**Figure 12.** Scenario 2 – Firing Current Graph



**Figure 13.** Scenario 2 – Firing Voltage Graph

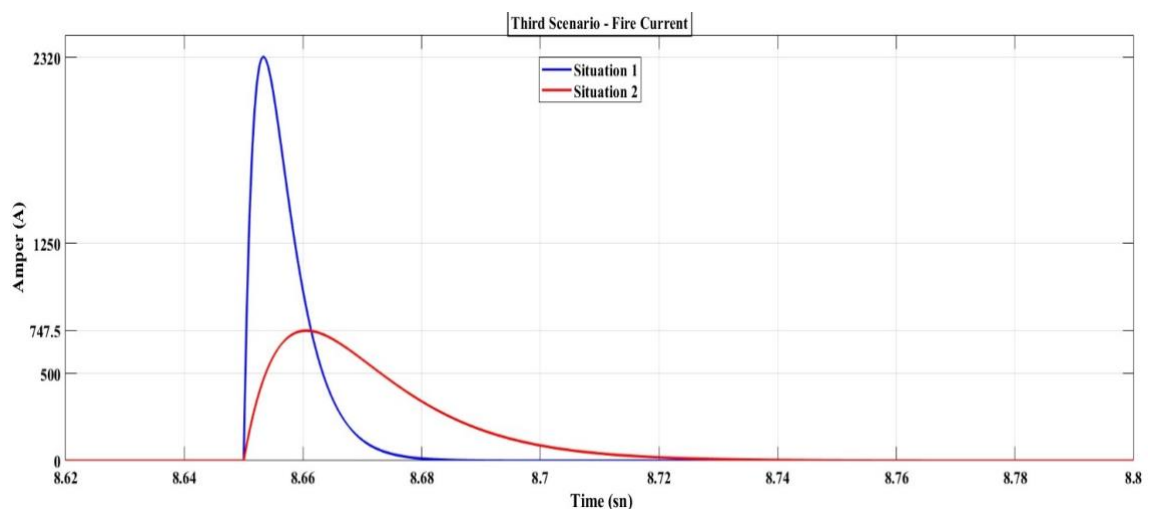


**Figure 14.** Scenario 2 – Firing Speed Graph

When the voltage value of the capacitors is decreased and the capacitance value is increased, the peak value of the current on the coil increases up to 4180 A. As the peak value of the current damped on the coil increases, according to equation 6, the coil energy is expected to increase and accordingly the speed is expected to increase. Although there is a 40% decrease in the voltage value of the load bank, the potential energy stored at the terminals of the capacitor will increase and an increase in the coil energy will occur. Because, this is a ten-fold increase in the capacitance value increases the energy value in equation 3. As a result, the projectile speed increases to 65.63 m/sec as seen in the graph. Considering equations 1, 2, 3, 6 and 7, in the efficiency comparison between situations 1 and 2 over 1 gram projectile, a 38.5% improvement in system efficiency is observed when a ten-fold increase in capacitance is achieved with a 40% voltage drop.

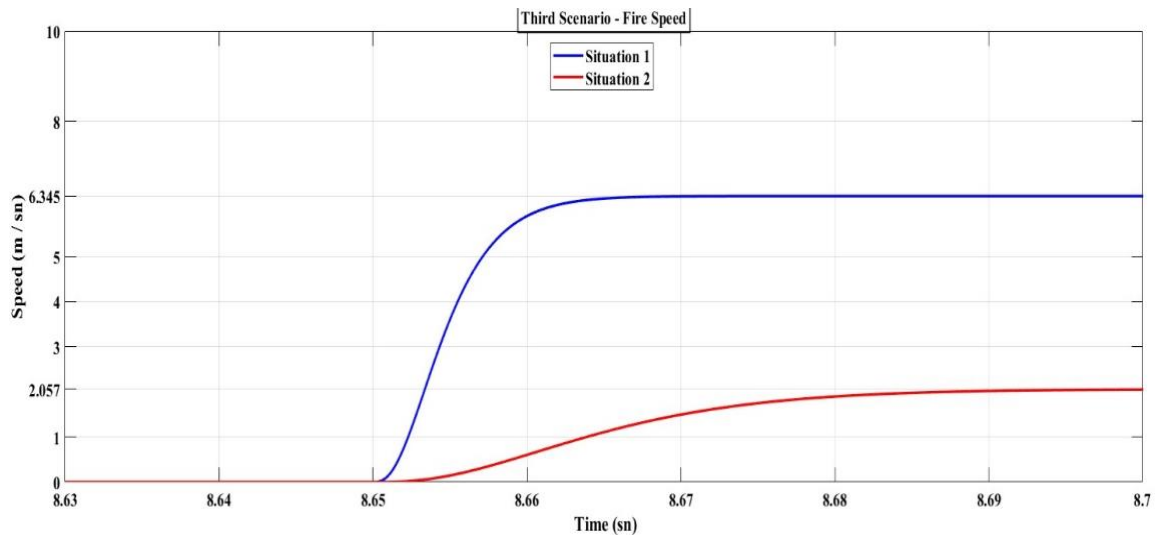
### 4.3. Third Scenario Results

In this scenario, the inductance value of the coil in the firing model is increased ten-fold. Depending on the change in the inductance value of the coil, the damping resistance value in the critical damping state was also changed. Figures 15 and 16 show the firing current and firing speed graphs respectively. When the inductance value of the coil is increased, it is observed that the peak value of the current occurring on it decreases up to 747.5 A. As the peak value of the current damped on the coil decreases, according to Equation 6, it is expected that the coil energy decreases and thus the speed decreases. As a result, as shown in Figure 16, a decrease of up to 2.057 m/sec is observed in the speed of the projectile. In the efficiency comparison between situations 1 and 2 over a 1 gram projectile, a 1% decrease in system efficiency is observed when the inductance value is increased ten-fold.



**Figure 15.** Scenario 3 – Firing Current Graph

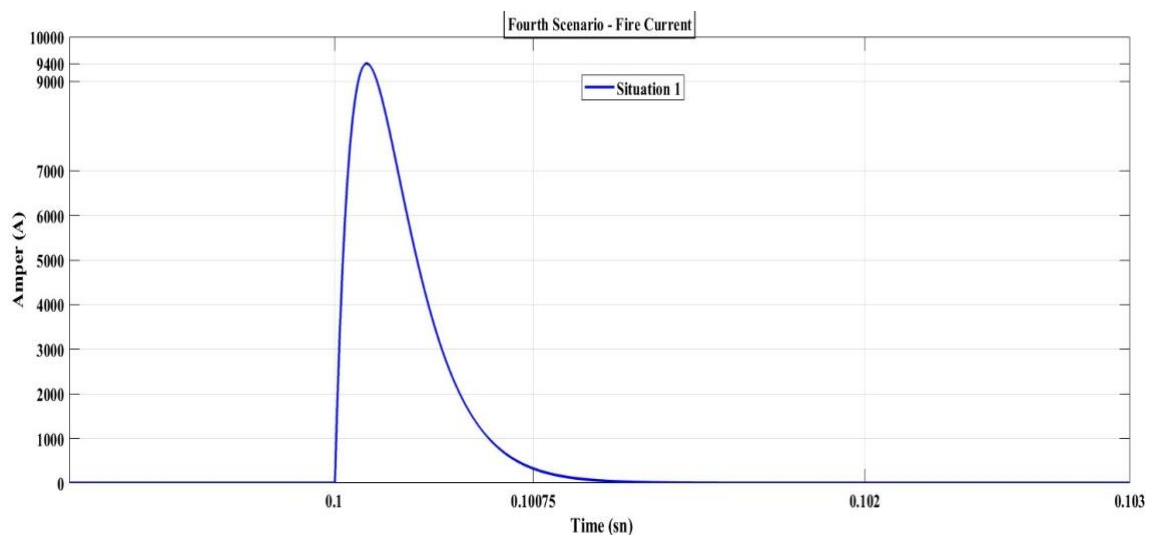




**Figure 16.** Scenario 3 – Firing Speed Graph

#### 4.4. Fourth Scenario Results

In this scenario, the accuracy of the mathematical speed measurement model available in the literature on electromagnetic launcher systems is examined. In this context, depending on the same parameters, a comprehensive interpretation of the speed calculations of the mathematical speed measurement model in the literature will be presented. The current and speed graphs of the model created in MATLAB are shown in Figures 17 and 18, and the force, coil current and speed graphs of the model created in ANSYS Maxwell are shown in Figures 19, 20 and 21, respectively.



**Figure 17.** Scenario 4 – Firing Current Graph (MATLAB)

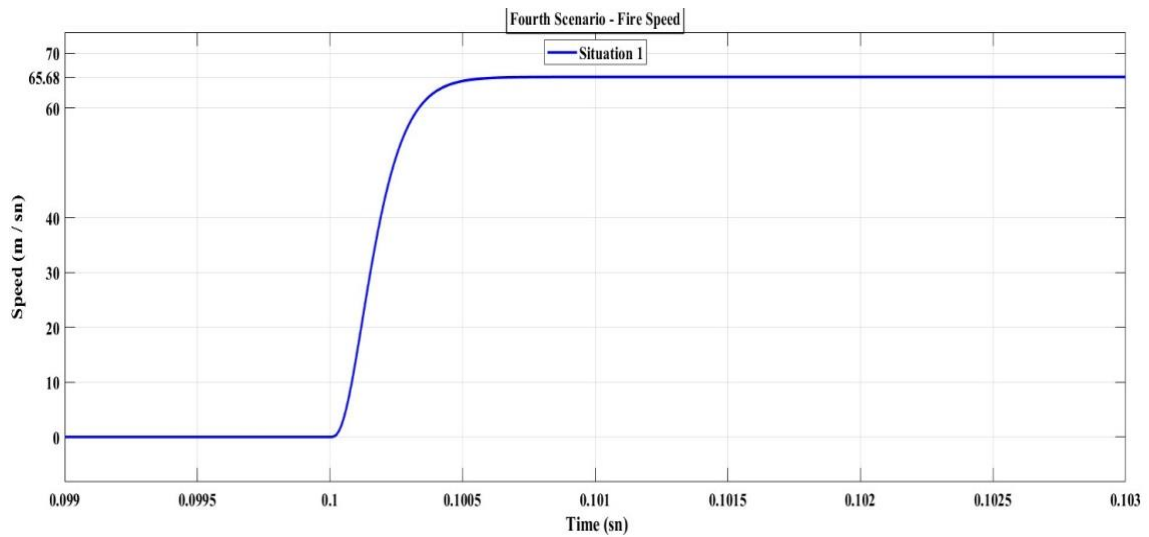


Figure 18. Scenario 4 – Firing Speed Graph (MATLAB)

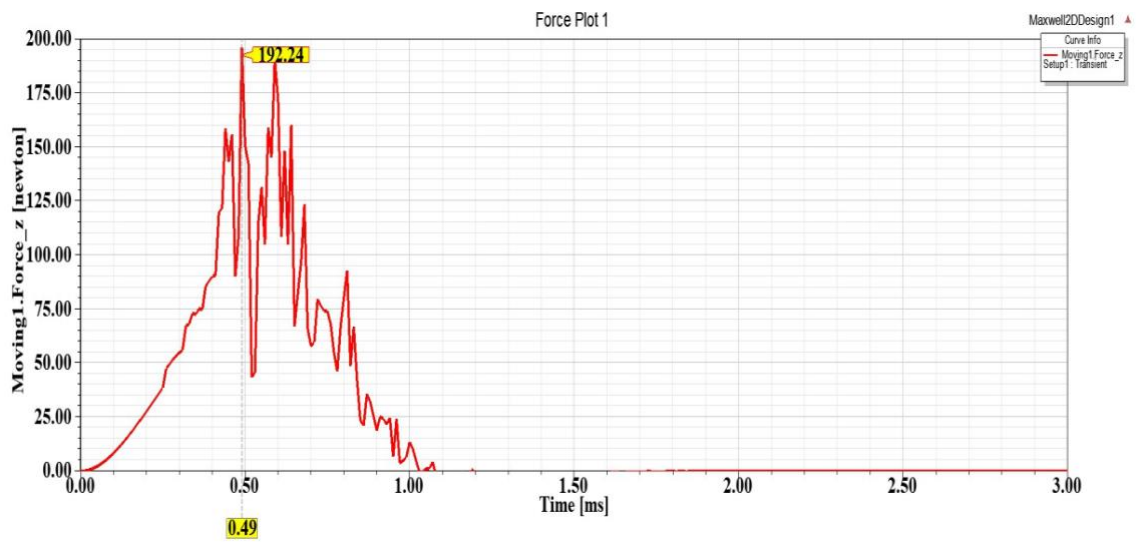


Figure 19. Scenario 4 – Firing Force Graph (ANSYS)

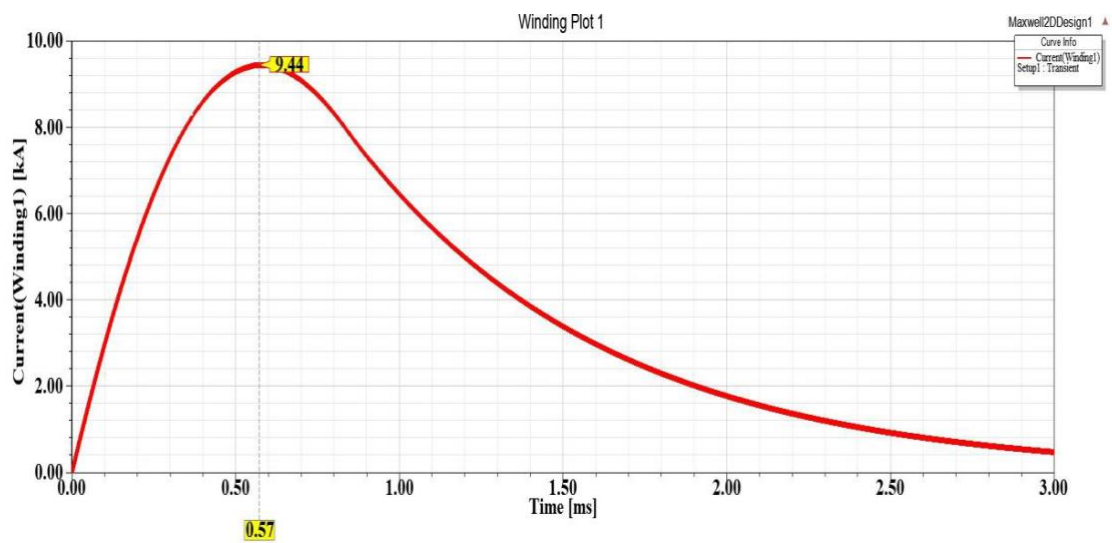
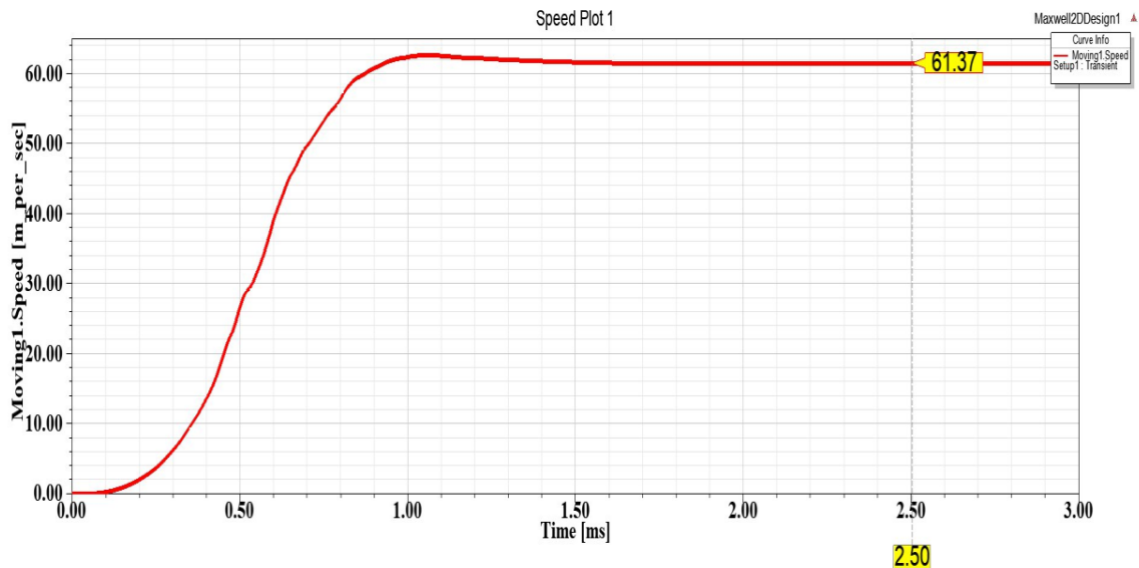


Figure 20. Scenario 4 – Firing Current Graph (ANSYS)



**Figure 21.** Scenario 4 – Firing Speed Graph (ANSYS)

In this scenario, differences in projectile speed were detected in simulation models performed in different programs with the same parameters. Since ANSYS provides a calculation process that includes electromagnetic field parameters as well as energy parameters, it is considered to be the most suitable program for the analysis of electromagnetic launcher systems.

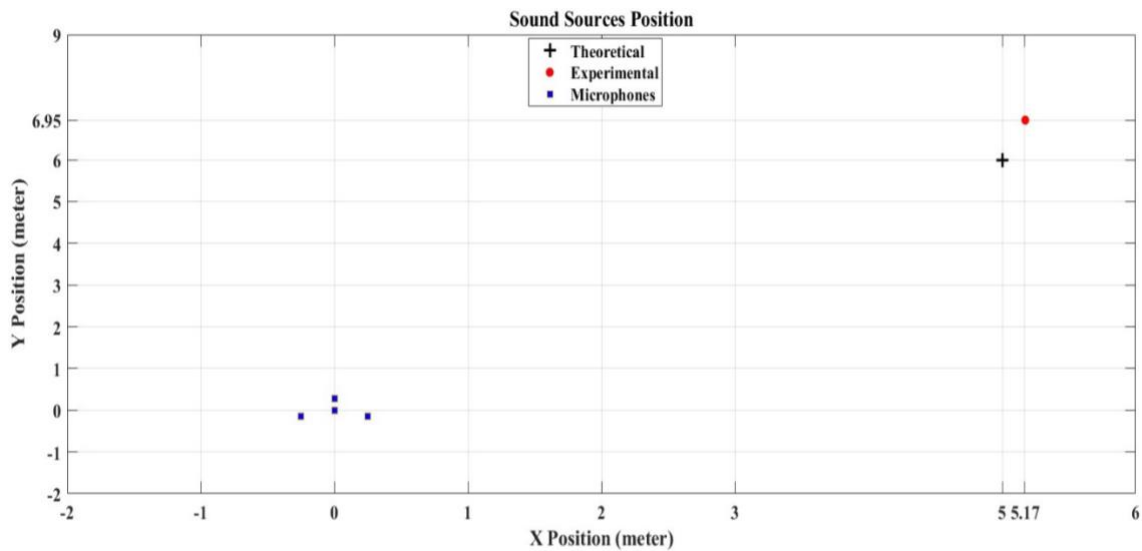
When a comparative analysis was made between the mathematical velocity measurement found in the literature and the measurement using the finite element method including electromagnetic field parameters, a 7% difference in velocity was observed. In the speed measurement with ANSYS, there are projectile, barrel and air gap parameters and leakage flux values are included in the measurement. In this scenario, the effect of an air gap of 1 mm on the system is shown.

While the system efficiency was 14.379% in the test model made on MATLAB, the system efficiency was founded as 12.554% in the measurement model made on ANSYS. Compared to the speed measurement method obtained by using the ANSYS program, the measurement method in the literature has a margin of error of 7%. Based on the studies in the literature at different voltage levels, it was seen that this rate varied between 5% and 11% in two different test models.

#### 4.5. Target and Human Detection Algorithm Results

This section shows the results of the target identification and detection models. Figure 22 shows the MATLAB / mfile output of the acoustic position model on the coordinate axis. In the figure, the squares at the origin represent the microphones, the + symbol represents the sound source defined in the theoretical model, and the red dot symbol represents the target resulting from the processing of the sound signal.

Based on the theoretical model, the experimental results show a deviation of 10% in the distance to the origin. The target angle deviated by 3.354 degrees with an increase of 6%. Table 7 shows the theoretical and experimental outputs of the positioning system. According to the output parameters, the fact that the sound encounter time differences of the microphones in the acoustic positioning system are close to each model shows that the linear algorithm using the time difference method can be used with the cross-correlation function with high accuracy.



**Figure 22.** Output Results in Coordinate Axis

**Table 7.** Acoustic Positioning Parameters

Parameters	Theoretical Model	Experimental Model
Time Difference (ms)	[0.6352 0.126 -0.783]	[0.6431 0.080 -0.781]
Sample Value	0	48000
Signal Data Value	0	6600

Figure 23 shows the output results of the human detection system. In this system, when the input data of the object detector is set in a human-specific way, the number of people detected (M) value is 1 and the classification score [scores] value is 0.1997. These data are automatically transferred to Simulink and the switching is performed with these data. The reason why the scores value is far from 1 is that the image is blurred in the mfile before processing.



**Figure 23.** Human Detection System Result

## 5. Conclusions and Recommendations

Table 8 shows the results of scenarios 1, 2 and 3.

**Table 8.** Scenario Results

Parameters / Scenario	Scenario (1/2/3).1	Scenario 1.2	Efficiency Value (1)	Scenario 2.2	Efficiency Value (2)	Scenario 3.2	Efficiency Value (3)
Fire Current	2320 A	3820 A	+ % 2.2	4180 A	+ % 38.5	747.5 A	- % 1
Fire Voltage	145 V	238 V		85 V		145 V	
Fire Speed	6.345 m/sn	17.15 m/sn		65.63 m/sn		6.345 m/sn	

According to the velocity graph in Figure 11, it is observed that the projectile speed increases with increasing the voltage value of the capacitors. However, increasing the current consumption from the DC source for voltage gain will decrease the source voltage more rapidly. Additionally, increasing the voltage value will increase the electrical parameter values of the power electronics elements, thus increasing the system cost. Therefore, high voltage gain is not an effective method in portable DC-based systems.

In the second scenario, increasing the capacitance value by keeping the simulation time constant with the circuit parameters in the power stage of case 1 and case 2 was examined. According to the data obtained from Figures 14, when the capacitance value of the capacitor is increased, it is observed that the speed change is higher than in the first scenario when firing at the same charging time. It was

found that increasing the capacitance value was more effective than increasing the voltage value of the capacitors.

In this scenario, it can be seen that in low-power systems, the ability to fire at high speed with low voltages can be achieved. However, it is clearly understood that the charging time will be extended in order to provide sufficient damage power in portable systems. At this point, it is emphasized that power electronics play a critical role. Therefore, while increasing the capacitance value in portable systems has a positive effect on the damage level, it is not accepted as an effective solution method in terms of mission time.

When the situations in the third scenario are examined, it is observed that the speed value decreases in the shots performed by increasing the inductance value of the accelerator coil. In this case, the importance of keeping the inductance value of the coil as low as possible becomes apparent. However, in order to reduce the inductance value, it is necessary to reduce the winding diameter. At this point, the importance of winding technique is emphasized. For this reason, keeping the inductance value low in coil launchers may have a positive effect in terms of projectile speed; however, reducing the projectile size should not be considered as an effective solution method in terms of damage power.

In the last scenario, the parameters of the electromagnetic launcher system are kept constant and the results of two different simulation programs are compared. In the models and equations in the literature, the fact we do not consider the flux, which is the parameter of the force acting on the projectile during energy conversion, causes the projectile velocity to be calculated incorrectly. Although this speed difference is in single digits even in low power systems, it poses a risk in terms of system reliability. In the results obtained through ANSYS, since all components of the force acting on the projectile were calculated based on the electromagnetic field, the velocity changed with an accuracy of %7.

In the geometric and signal processing analysis of the target detection system, the amount of deviation in the position results is less than 10%, indicating that the algorithm has a high accuracy rate. The reason for this deviation is due to the numerical digit permission range of the source program that creates the audio recordings used in the simulation program.

Considering the results obtained, the way to be followed in the design of an electromagnetic launcher system is suggested as follows.

- First of all, the inductance value in the shooting model should be kept small to take into account the projectile size. For this purpose, winding technique or armature structure must be decided.

- Then the capacitance value must be determined. The equivalent capacitance value should be kept big enough not to adversely affect the charging time and system reliability. For this purpose, a load bank consisting of capacitor groups should be done instead of a single capacitor.
- In order to obtain the value of the current to be damped on the coil, the voltage value to be applied to the system and the power stage must be designed. It should be considered that the voltage value is inversely proportional to the charging time. Additionally, increasing the voltage level is not a preferred method since it increases the system cost and decreases its reliability.
- The capacitor and inductance values need to be selected to provide the damping period range specified in the literature. In the last stage, after determining the internal resistance value of the system, the damping resistance value should be selected.
- Since electromagnetic launcher systems consist of a charge and discharge cycle, switching signals must be associated with the mission. Therefore, it is essential that such systems are switched by sound or image.
- As demonstrated in the fourth scenario, leakage fluxes result in decreased system efficiency. Therefore, the magnetic materials to be used must be ferromagnetic. Reducing the leakage fluxes will greatly increase the system efficiency.

### **Authors' Contributions**

All authors contributed equally to the study.

### **Statement of Conflicts of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

### **Statement of Research and Publication Ethics**

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Abdo, M. M. M., El-Hussieny, H., Miyashita, T., & Ahmed, S. M. (2023). Design of A New Electromagnetic Launcher Based on the Magnetic Reluctance Control for the Propulsion of Aircraft-Mounted Microsatellites. *Applied System Innovation*, 6(5), 81.
- Akyazi, Ö., Bozdağ, M. O., & Akpınar, A. S. (2015). Elektromanyetik Fırlatıcılı Alan Savunma Sistemi Tasarımı ve Gerçeklenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 27(2), 43-50.
- Akyazi, Ö. (2006). Elektromanyetik Fırlatıcılar (Yüksek Lisans Tezi). Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Baharvand, M., Kolagar, A. D., & Pahlavani, M. R. A. (2021). Design, Simulation, and Parameter Optimization of a MultiStage Induction Coilgun System. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 49(7), 2256-2264.
- Bresie, D. A., & Andrews, J. A. (1991). "Design of a reluctance accelerator." *IEEE Transactions on Magnetics*, 27(1), 623–627.
- Çakır, O., Yazgan, A., Çakır, O., & Kaya, I. (2012). Farklı perspektiften zaman farkının varış ortalamasının alınması. In 2012 35. Uluslararası Telekomünikasyon ve Sinyal İşleme Konferansı (TSP) (s. 344-347). Prag, Çek Cumhuriyeti. <https://doi.org/10.1109/TSP.2012.6256312>.
- Dalal, N., & Triggs, B. (2005). Histograms of Oriented Gradients for Human Detection. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1, 886–893.
- Dong, L., Li, S., Xie, H., Zhang, Q. ve Liu, J. (2018). Influence of Capacitor Parameters on Launch Performance of Multipole Field Reconnection Electromagnetic Launchers. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 46(7), 2642-2646.
- Ege, Y., Kabadayı, M., Kalender, O., Coramik, M., Citak, H., Yuruklu, E. ve Dalcalı, A. (2016). A New Electromagnetic Helical Coilgun Launcher Design Based on LabVIEW. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 44(7), 1208-1218.
- Egeland, A. (1989). Birkeland' s Electromagnetic Gun: A Historical Review. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 17(2), 73-82.
- Fan, G., Wang, Y., Wang, P., Hu, Y. ve Yan, Z. (2020). Research on the Armature Structure Optimization of the Toroidal Reconnected Electromagnetic Launcher. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 48(6), 2294-2300.
- Fauchon, A., & Villeplee, L. O. (1920, January). *Canons Electriques*. Berger-Levrault.
- İnger, E. (2013). Examination and Simulation of Electromagnetic Launch Systems. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., & Ma, B. (2022). A Review of Yolo Algorithm Developments. *Procedia Computer Science*, 199, 1066-1073. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.135>
- Kaushik, Balakrishnan, Don, N., & Krish, A. (2005). A Review Of The Role Of Acoustic Sensors In The Modern Battlefield. 11th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference.
- Kırıkcı, F. M. (2023). *Elektromanyetik Fırlatıcı Sistemlerin İrdelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Liang, C., Xiang, H., Yuan, X., Qiao, Z. ve Lv, Q. A. (2021). Reverse Force Suppression Method of Reluctance Coil Launcher Based on Consumption Resistor. *IEEE Access*, 9, 62770-62778.
- Lu, M., Zhang, J., Yi, X. ve Zhuang, Z. (2022). Advanced Mathematical Calculation Model of Single-Stage RCG. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 50(4), 1026–1031.
- McNab, I. R. (1999, January). Early electric gun research. *IEEE Transactions on Magnetics*, 35(1), 250-261. doi: 10.1109/20.738413.
- Özüğür, Ö., & Leblebicioğlu, M. K. (2016). Akustik Algılayıcı Ağının Optimizasyonu ile Ateşli Silah Konumunun Tespit Edilmesi. *Journal of Defense Sciences/Savunma Bilimleri Dergisi*, 15(2).
- Pages, C. G. (1845). New Electromagnetic Engine. *American Journal of Science and Arts*, 49, 131-135.
- Praneeth, S. R. N., & Singh, B. (2022). Finite Element-Boundary Element Method Based Simulations of Electromagnetic Railgun in Augmented Configurations. *IEEE Journal on Multiscale and Multiphysics Computational Techniques*, 7, 320-327. doi: 10.1109/JMMCT.2022.3222529.
- Sari, V. (2023). Effect of Change of Reluctance Launcher Parameters on Projectile Velocity. *IEEE Access*, 11, 90027-90037. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3307016>.
- Slade, G. W. (2005). A simple unified physical model for a reluctance accelerator. *IEEE Transactions on Magnetics*, 41(11), 4270–4276.



- Su, X., Lin, F., Zhang, Q., Li, H., & Liu, Y. (2021). Optimal Design of a Multistage Induction Coil Launcher. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 49(10), 3243-3250. <https://doi.org/10.1109/TPS.2021.3113703>.
- Urruela, A., Sala, J., & Riba, J. (2006). Average Performance Analysis of Circular and Hyperbolic Ge Location. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 55(1), 52–66.
- Wan, X., Yang, S., Li, Y. ve Li, B. (2023). Inductance Gradient in Electromagnetic Launcher Under Channel Cooling Condition. *IEEE Transactions on Plasma Science*.
- Wang, M., Cao, Y., Wang, C., Wang, H. ve Chen, J. (2016). Trigger Control Research of Electromagnetic Coil Launcher Based on Real-Time Velocity Measurement. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 44(5), 885–888.
- Zhao, J., Li, H., Zhao, B., Liu, J., Kong, L. ve Zhang, P. (2023). An Improved Pulsed Power Supply Circuit for Reluctance Electromagnetic Launcher Based on Bridge-Type Capacitor Circuit. *IEEE Transactions on Plasma Science*.

## Farklı Baskı Açılı ve Dolgu Oranlarında Üretilen Polilaktik Asit Plakalarla Birleştirilmiş Yapıştırma Bağlantılarının Deneysel Analizi

Kürşat GÜLTEKİN<sup>1\*</sup>, Batuhan ÖZAKIN<sup>2</sup>, Furkan YÜKSEL<sup>3</sup>, Emircan DANIŞMAZ<sup>4</sup>

### Öz

Sunulan çalışmada, farklı baskı açılı ve dolgu oranlarında üretilmiş PLA bağlantı numuneleriyle üretilmiş yapıştırma bağlantılarında bindirme uzunluğunun hasar davranışı üzerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmanın motivasyonu doğrultusunda, iki farklı açıda (0° ve 45°) ve iki farklı dolgu oranında (%100 ve %75) PLA numuneler üretilmiştir. Üretilen numuneler kullanılarak 12,5 mm, 25 mm ve 37,5 mm bindirme uzunluğuna sahip tek tesirli bağlantı numuneleri üretilmiştir. Farklı açı ve dolgu oranlarında üretilen bulk PLA numunelerin mekanik özellikleri ASTM D638 standardına uygun olarak çekme testi ile belirlenmiştir. Üretilen bağlantı numunelerinin mekanik özellikleri ise ASTM D1002 standardı dikkate alınarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, dolgu oranı ve baskı açısının bulk numunelerin mekanik özellikleri üzerine önemli etkisinin olduğunu, bu doğrultuda üretilen bağlantı numunelerinin hasar yüklerinin de dolgu oranı ve baskı açısına bağlı olarak değiştiği gözlemlenmiştir. 0° ve 45° baskı açılarında üretilen bulk numunelerde doluluk oranının %75'den %100'e çıkmasıyla çekme dayanımlarının sırasıyla yaklaşık %6,3 ve %7,4 oranında arttığı belirlenmiştir. Bununla birlikte, bindirme uzunluğunun artması ile hasar yükünün arttığı deneysel çalışmalardan belirlenmiştir. 0° baskı açısı ve %100 doluluk oranında PLA numuneler kullanılarak üretilen bağlantı numunelerinde, bindirme uzunluğu 12,5 mm'den 25 ve 37,5 mm'ye artmasıyla bağlantıların hasar yüklerinin sırasıyla yaklaşık %56 ve %117 oranında arttığı belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapıştırma bağlantıları, Polilaktik asit, Çekme testi, Hasar yükü.

## Experimental Analysis of Adhesive Joints Bonded with Polylactic Acid Plates Produced with Different Printing Angles and Infill Ratios

### Abstract

In the presented study, the effect of overlap length on the damage behavior in adhesive joints produced with polylactic acid (PLA) joint samples produced at different printing angles and filling ratios was experimentally examined. In line with the motivation of the study, PLA samples were produced at two different angles (0° and 45°) and two different infill ratios (100% and 75%). Single-lap joint samples with 12.5 mm, 25 mm and 37.5 mm overlap lengths were produced using the produced PLA samples. The mechanical properties of bulk PLA samples produced at different angles and filling ratios were determined by tensile testing in accordance with the ASTM D638 standard. The mechanical properties of the produced adhesively bonded joint PLA samples were determined considering the ASTM D1002 standard. When the results obtained were evaluated, it was observed that the filling ratio and printing angle had a significant effect on the mechanical properties of bulk PLA samples, and the failure loads of the joint samples produced in this direction also varied depending on the infill ratio and printing angle. It was determined that the tensile strengths of bulk samples produced at 0° and 45° printing angles increased by approximately 6.3% and 7.4%, respectively, as the infill ratio increased from 75% to 100%. Moreover, it has been determined from experimental studies that the failure load increases with increasing overlap length. In the joint samples produced using PLA samples with a 0° printing angle and 100% infill ratio, it was determined that the failure loads of the joints increased by approximately 56% and 117%, respectively, as the overlap length increased from 12.5 mm to 25 and 37.5 mm.

**Keywords:** Adhesive joints, Polylactic acid, Tensile test, Failure load.

<sup>1,3,4</sup>Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, [kursat.gultekin@omu.edu.tr](mailto:kursat.gultekin@omu.edu.tr)  
[furkanyukselimm@gmail.com](mailto:furkanyukselimm@gmail.com) [emircandanismaz12@gmail.com](mailto:emircandanismaz12@gmail.com)

<sup>2</sup>Samsun Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, [batuhan.ozakin@samsun.edu.tr](mailto:batuhan.ozakin@samsun.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

## 1. Giriş

Eklemeli imalat, bilgisayar destekli tasarım (CAD) verileri aracılığıyla, fiziksel parçanın katmanlar halinde oluşturulması ve ihtiyaç duyulan miktar kadar malzeme kullanılmasına dayanan imalat teknolojisidir. Eklemeli imalat, tasarımın karmaşıklığına ve detayına bağlı olarak özel ve karmaşık geometrilerin üretilmesine olanak tanımakta ve geleneksel talaşlı imalat yöntemiyle üretilen parçaların tersine malzemelerin kesilmesi veya atılmasını gerektirmemektedir. Bu durum, malzeme tasarrufu sağlamak ve sürdürülebilir üretim uygulamalarına olanak tanımaktadır. Özellikle karmaşık parçaların üretiminde eklemeli imalat, geleneksel yöntemlere kıyasla, daha kolay ve etkin maliyetli bir şekilde üretim olanağı sunmaktadır (Tofail ve ark., 2018; Daminabo ve ark., 2020; Ngo ve ark., 2018; Gao ve ark., 2015)

Günümüzde; seçici lazer ergitme (SLE), seçici lazer sinterleme (SLS), elektron ışık ergitme (EBM), eriyik yığıma modelleme (FDM/EYM) vb. gibi, çok sayıda eklemeli imalat yöntemleri mevcut olup, bu yöntemler kullanılan malzeme, tabakaların oluşturulması ve çalışma prensipleri açısından farklılıklar göstermektedir (Özsolak, 2019). Eriyik yığıma modelleme (EYM) teknolojisi uygun maliyetli ve kullanımı kolay olduğu için ev kullanıcılarından endüstriyel uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. EYM teknolojisi, polimerik malzemenin sıcak bir nozuldan geçirilmesi sonucu ertirilmesi ve ardından erimiş malzemenin tabakaları oluşturacak şekilde önceden belirlenmiş bir yolda hareket etmesi ile parçanın katmanlı üretilmesi esasına dayanmaktadır (Penumakala ve ark., 2020; Rajan ve ark., 2022; Dhinakaran ve ark., 2020). EYM yönteminde, genellikle yüksek sıcaklıkta eritilen ve ardından soğuyup katılaştıran özelliklere sahip termoplastik malzemeler kullanılmaktadır. Polilaktik Asit (PLA), Akrlonitril Bütadien Stiren (ABS), Polietilen Tereftalat Glikol (PETG), Termoplastik Poliüretan (TPU), Polikarbonat ve Nylon üretilen parçanın gereksinimlerine ve amacına bağlı olarak tercih edilen malzemelerdir (Khan ve ark., 2023; Zhou ve ark., 2023; Kumar ve ark., 2022; Desai ve ark., 2023). Polilaktik asit (PLA), büyük boyutlu modelleri basarken düşük büzülme oranına ve iyi stabiliteye sahip olması, biyolojik olarak bozunabilmesi, hafif ve dayanımı yüksek olması gibi avantajları sayesinde üç boyutlu (3B) baskı teknolojisinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Brancewicz-Steinmetz ve ark., 2021).

EYM yönteminde; seçilen ekstrüzyon sıcaklığı, baskı açısı, yazdırma boşluğu, tabaka kalınlığı, baskı hızı ve dolgu oranı gibi parametreler üretilen parçanın dayanımında önemli rol oynamaktadır. Kaygusuz ve Özerinç (2018) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı nozul (ekstrüzyon) sıcaklığı ve baskı doluluk oranlarının PLA ile üretilen malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkisini incelemişlerdir. Nozul sıcaklığının artmasıyla yapıdaki boşlukların azaldığını ve bunun sonucunda da çekme dayanımının arttığını, dolgu oranının azalmasıyla da dayanım ve elastisite modülünün azaldığını ifade etmişlerdir. Öz ve ark., (2018) tarafından yapılan bir çalışmada ise, baskı doluluk

oranının farklı filamentler kullanılarak üretilen numunelerin hasar yüklerine olan etkisini araştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tüm filament çeşitlerinde baskı doluluk oranlarındaki artışın hasar yükünü arttırdığı ifade edilmiştir. Ayrıca, Polistiren filament ile üretilen numunelerde dolgu oranına bağlı olarak en belirgin farkın meydana geldiği ifade edilirken, Nylon filament için ise dolgu oranının diğer filamentlere kıyasla hasar yüküne etkisinin daha düşük olduğu ifade edilmiştir. Kamer ve Temiz (2021), farklı tabla ve nozul sıcaklıklarının ABS ve PLA malzemelerin mekanik özellikleri üzerine etkisini inceledikleri deneysel çalışmada; tabla sıcaklığının mekanik özellikler üzerinde çok büyük etkisinin olmadığını ancak nozul sıcaklığının azalmasıyla çekme dayanım değerlerinin azaldığını ifade etmişlerdir. Kamer ve ark., (2022) farklı baskı hızlarının PLA numunelerin mekanik özellikleri üzerine etkisini inceledikleri bir başka çalışmada ise, baskı hızının artmasıyla üst yüzeydeki sertlik değerlerinin ve çekme dayanımının azaldığını, gözenekliliğin ise arttığını bildirmişlerdir. Algarni (2021), 0°, 45° ve 90° baskı tarama (raster) açılarında ürettiği PLA malzemelerin mekanik özelliklerini incelediği çalışmada, baskı açısının çekme dayanımı üzerinde önemli etkisinin olduğunu, 90° (çekme yönüne paralel) açıda üretilen numunelerde maksimum çekme dayanımının elde edildiğini ifade etmiştir.

EYM teknolojisiyle plastik ham maddeler kullanılarak üretilen parçaların birleştirilmesi önem arz etmektedir. Plastik malzemelerin birleştirilmesinde yapıştırıcı ile birleştirme yöntemi ön plana çıkmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar incelendiğinde, bu konuda çeşitli çalışmaların olduğu görülmektedir. Polat Çoban ve ark., (2023) tarafından yapılan bir çalışmada, farklı yapıştırıcılar kullanılarak üretilen tek tesirli PLA bağlantılarında dolgu oranı, yapıştırıcı kalınlığı ve yapıştırılan malzemenin yüzeyine uygulanan farklı boyutlardaki zımparalama işleminin etkisi incelenmiştir. Yapıştırıcı kalınlığının, yapıştırıcı türünün ve yapıştırılan yüzeye uygulanan zımparalama işlemlerinin bağlantıların dayanımını etkilediği ifade edilmiştir. Anaç ve ark., (2022), %20 ve %100 doluluk oranlarında, farklı yüzey pürüzlülüklerine sahip PLA malzemeleri farklı basınç yöntemleri kullanarak ürettikleri tek tesirli bağlantılarda, basınç türünün önemli olduğunu ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak uygun basınç türünün seçilmesinin gerekli olduğunu belirtmişlerdir. Khosravani ve ark., (2021) baskı parametrelerinin ve yapıştırıcı kalınlığının bağlantıların mekanik performansı üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Deneysel olarak kullanılan farklı yapıştırıcı kalınlıkları (0,2, 0,3 ve 0,4 mm) arasında, 0,2 mm yapıştırıcı kalınlığının daha yüksek mekanik performans sergilediği belirlenmiştir. Choudhury vd. (2021), yapıştırıcı ile birleştirilmiş tek tesirli bambu elyafı/PLA kompozit bağlantıların çekme ve basma performansını deneysel olarak araştırmışlardır. Araştırma bulgularına göre, bağlantı numunesinin genişlik ve bindirme uzunluğunun artması ile numunelerin daha iyi çekme ve basma dayanımı sağladığı bildirilmiştir.

Sunulan çalışmada, 0° ve 45° derece baskı açılarında, %100 ve %75 dolgu oranlarında üretilen PLA plakalarla birleştirilmiş tek tesirli yapıştırma bağlantılarında bindirme uzunluğunun etkisi, baskı

açısı ve dolgu oranının bulk numunelerin mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Bu amaçla, hem bulk hem de bağlantı numuneleri üretilmiş ve çekme testi uygulanarak mekanik özellikleri belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

PLA filament 3B baskı teknolojisinde sıklıkla kullanılan ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyobozunur bir termoplastiktir. Sunulan çalışmada, kullanım kolaylığı, düşük maliyet ve çevre dostu olması gibi özellikleri nedeniyle PLA filament kullanılmıştır. Kullanılan filament, Filameon firmasından (Kayseri, Türkiye) temin edilmiş olup, üretici firmanın katalogunda sunulan teknik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Filamentin özellikleri

Çap	1,75 mm
Yoğunluk	1,24 g/cm <sup>3</sup>
Rockwell Sertliği	108
Baskı Sıcaklığı	190-230 °C
Çekme Dayanımı	53 MPa
Uzama Gerinimi	%6
Eğme Dayanımı	83 MPa

Tek tesirli PLA bağlantı numunelerini birleştirmek için Araldite 2011 epoksi yapısal yapıştırıcısı kullanılmıştır. Çift bileşenli Araldite 2011 yapıştırıcısı epoksi ve sertleştiriciden (1:0,8 oranında) oluşmakta ve 60°C’de 75 dakika sürede kürleşmektedir (Gültekin ve Korkmaz, 2021; Korkmaz ve Gültekin, 2023). Kullanılan yapıştırıcının mekanik özellikleri literatürden alınmış (Özer ve Erbayrak, 2016; Carbas ve ark., 2014) ve Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** Yapıştırıcının mekanik özellikleri

Çekme Dayanımı	Poisson Oranı (ν)	Elastisite Modülü
33 MPa	0,41	1600 MPa

### 2.2. Numunelerin Hazırlanması

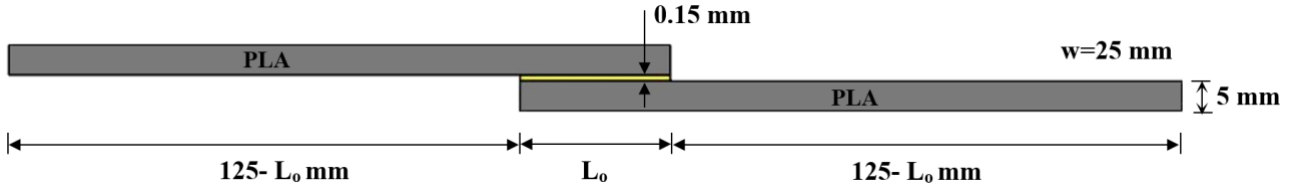
Yapıştırılacak PLA plakalar ve bulk PLA numuneler Creality Ender 3 V2 masa üstü tipi 3B yazıcı kullanılarak üretilmiştir. Plakaların üretiminde; ekstrüzyon sıcaklığı 220°C, tabla sıcaklığı 70°C ve katman kalınlığı 0,12 mm olarak seçilmiştir. %100 ve %75 dolgu oranlarında, 0° ve 45° baskı açılarında bulk ve bağlantı numuneleri üretilmiştir (Şekil 1). Üretilen PLA bulk ve plaka

numuneler yapıştırma ve test sürecine kadar nem ve sıcaklıktan etkilenmemesi için desikatör içerisinde muhafaza edilmiştir.



Şekil 1. Üretilen bulk PLA ve yapıştırma bağlantı numuneleri

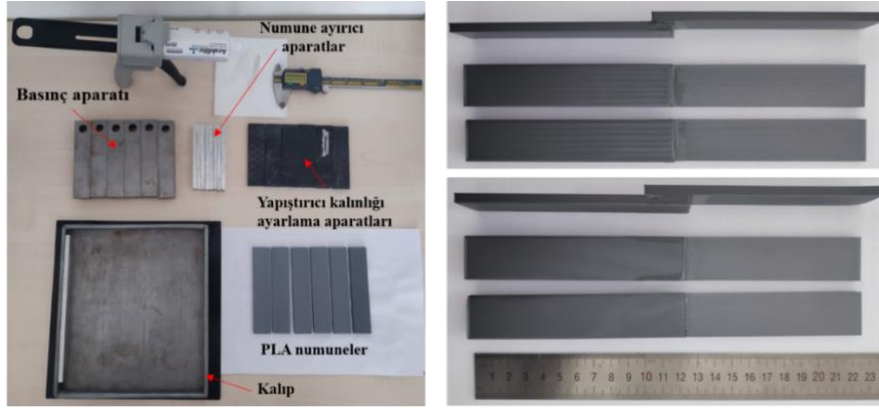
PLA numuneler üretildikten sonra, tek tesirli bağlantı numunelerinin üretim aşamasına geçilmiştir. Üretilecek tek tesirli bağlantı geometrisi Şekil 2’de gösterildiği gibidir. Çalışma kapsamında tek tesirli bağlantı numunelerinin genişliği 25 mm, bindirme uzunluğu ( $L_0$ ) ise 12,5, 25 ve 37,5 mm olarak üretilmiştir.



Şekil 2. Bağlantı geometrisi

Bindirme uzunluğu ve yapıştırıcı kalınlığını ayarlamak için kalıp ve kalıp aparatları kullanılmıştır. Kalıp ve kalıp aparatları önce silikon yağlayıcı ile kaplandıktan sonra yapıştırma işlemine geçilmiştir. PLA plakaların yüzeyi yapıştırma işlemi öncesinde izopropil alkol ile temizlendikten sonra, yapışma bölgesine yapıştırıcı tabancası yardımıyla yapıştırıcı uygulanmıştır. Uygun kalıp aparatları vasıtasıyla yapıştırıcı kalınlığı ve bindirme uzunluğu ayarlanan numuneler, 60°C etüv içerisinde 75 dakika bekletilerek kürleştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Kürleşme işlemi sonrası, numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış ve ardından yapışma bölgesi etrafında taşan yapıştırıcılar maket bıçağı yardımıyla temizlenmiştir (Şekil 3).

Üretilen bağlantı numunelerine ait deneysel parametreler Tablo 3’te verilmiştir.

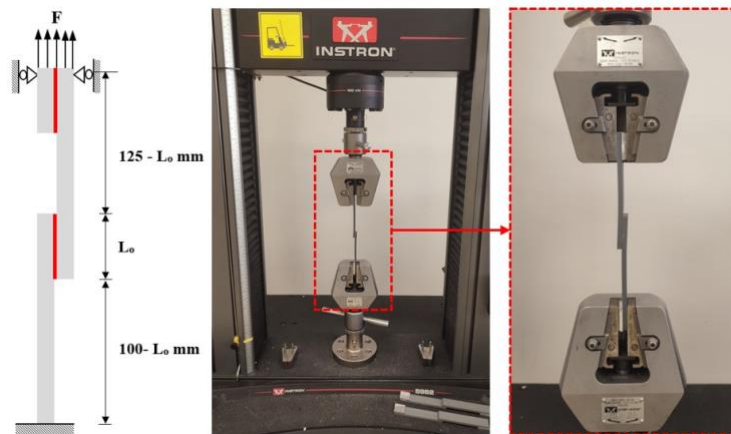


Şekil 3. Bağlantı numunelerinin üretimi

Tablo 3. Deneysel parametreler

Bindirme Uzunluğu	Dolgu Oranı	Baskı Açısı	Numune Kodu
12,5 mm	% 100	0°	B-1/100/0
25 mm	% 100	0°	B-2/100/0
37,5 mm	% 100	0°	B-3/100/0
12,5 mm	% 75	0°	B-1/75/0
25 mm	% 75	0°	B-2/75/0
37,5 mm	% 75	0°	B-3/75/0
12,5 mm	% 100	45°	B-1/100/45
25 mm	% 100	45°	B-2/100/45
37,5 mm	% 100	45°	B-3/100/45
12,5 mm	% 75	45°	B-1/75/45
25 mm	% 75	45°	B-2/75/45
37,5 mm	% 75	45°	B-3/75/45

Üretilen farklı dolgu oranlarındaki bulk numuneler Shimadzu marka çekme testi cihazında, oda sıcaklığında 5 mm/dk çekme hızında test edilmiştir. Bağlantı numuneleri ise Instron marka çekme cihazında, oda sıcaklığında 1 mm/dk çekme hızında test edilmiştir. Her bir parametreden 3 adet numune test edilmiştir. Çekme testine ait sınır şartları ve test cihazı Şekil 4’te verilmiştir.

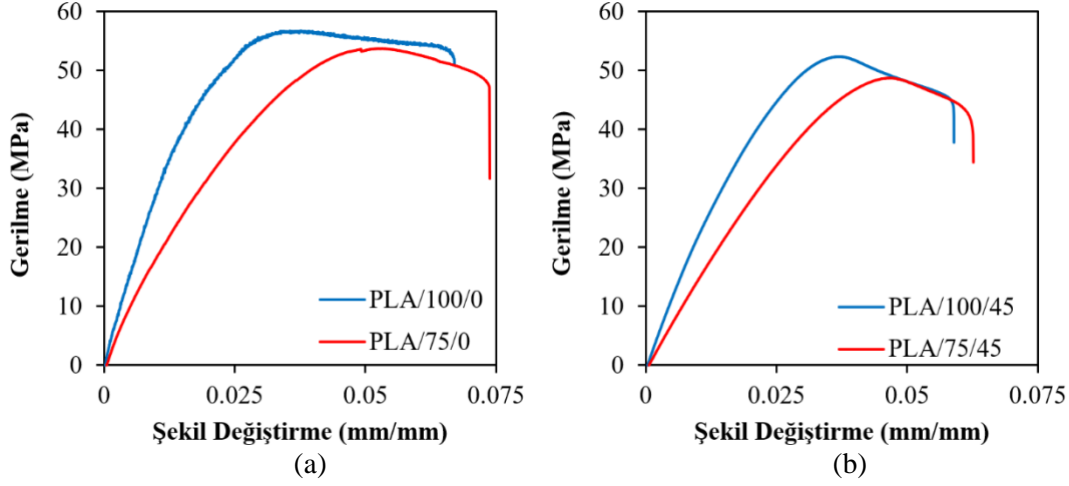


Şekil 4. Bağlantı numunelerine ait sınır şartları ve çekme testi

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. Bulk PLA Numunelerinin Çekme Testinden Elde Edilen Sonuçlar

%100 ve %75 dolgu oranlarında,  $0^\circ$  ve  $45^\circ$  baskı açılarında bulk PLA numunelerinin çekme testi sonrası elde edilen gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. PLA numunelerinin gerilme-şekil değiştirme eğrileri; a)  $0^\circ$ , b)  $45^\circ$

Çekme testi sonrasında elde edilen gerçek gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden, %100 ve %75 dolgu oranlarında,  $0^\circ$  ve  $45^\circ$  baskı açılarında üretilen bulk PLA numunelerinin çekme dayanımı, maksimum şekil değiştirme ve elastisite modülleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların ortalama değerleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. PLA bulk numunelerinin mekanik özellikleri

Numune	Çekme Dayanımı (MPa)	Şekil Değiştirme (mm/mm)	Elastisite Modülü (MPa)
PLA/100/0	57,1	0,0671	3055
PLA/75/0	53,7	0,0738	2190
PLA/100/45	52,3	0,0589	2465
PLA/75/45	48,7	0,0626	1590

Şekil 5 ve Tablo 4'te verilen PLA bulk numunelere ait mekanik özellikler incelendiğinde; dolgu oranının azalmasıyla malzemelerin çekme dayanımlarının ve elastisite modüllerinin azaldığı, maksimum şekil değiştirme değerlerinin ise arttığı görülmektedir. %100 dolgu oranı ve  $0^\circ$  baskı açısında üretilen numune (PLA/100/0) ile %75 dolgu oranı ve  $0^\circ$  baskı açısında (PLA/75/0) üretilen numune kıyaslandığında, dolgu oranının %100'den %75'e inmesiyle çekme dayanımının ve elastisite modülünün sırasıyla yaklaşık %6 ve %28 oranlarında azaldığı görülmektedir. Bununla birlikte aynı numuneler birbirleriyle kıyaslandığında, maksimum şekil değiştirme değerlerinde ise tam aksine %10 oranında artış meydana geldiği görülmektedir. PLA malzemelerde dolgu oranının azalmasıyla



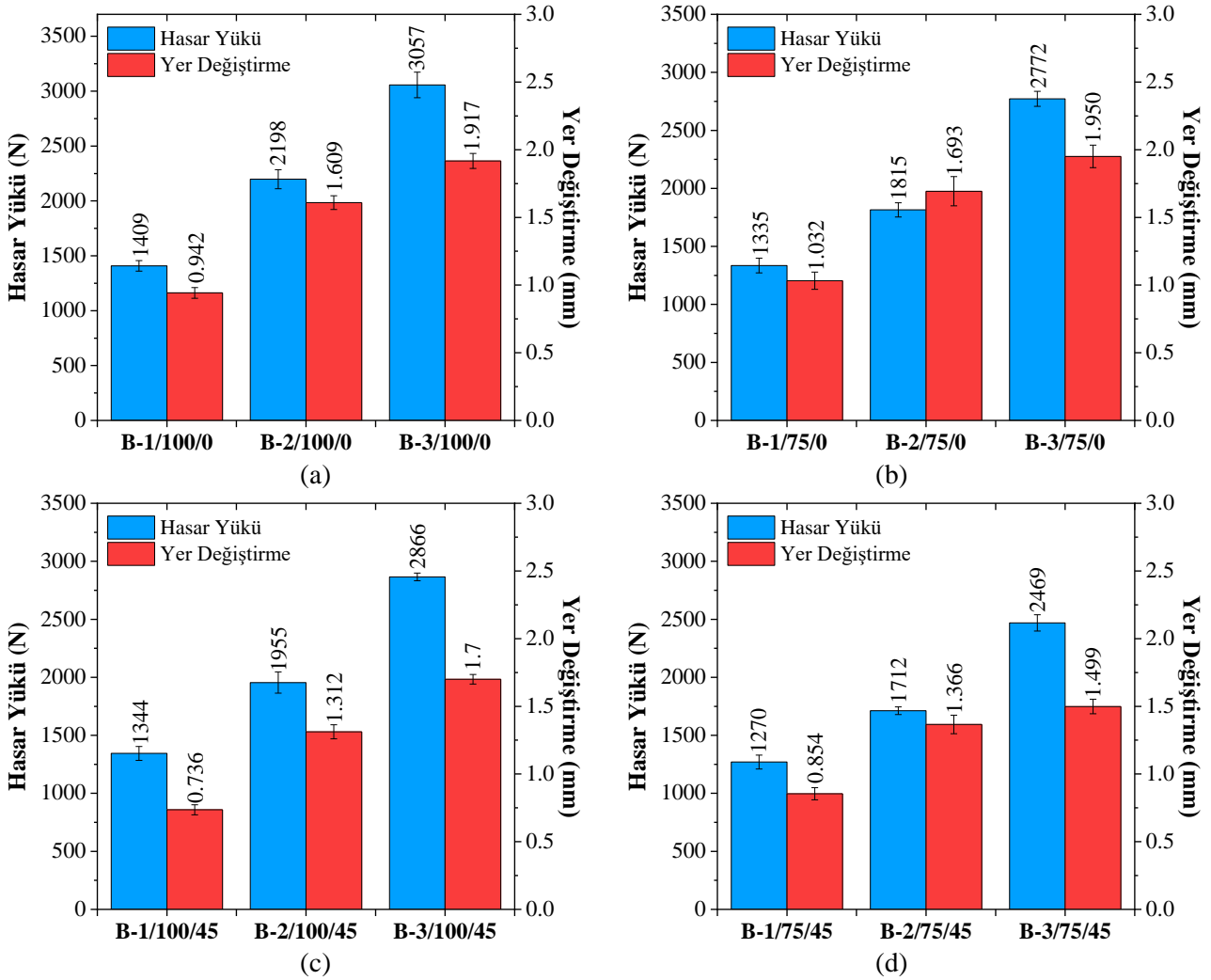
birlikte, malzemenin içindeki dolgu maddesinin miktarı ve malzemenin yapısal bütünlüğü azalmaktadır. Ayrıca, dolgu oranı malzemenin içinde kuvvetlerini dağıtarak homojen bir yük transferi sağlamaktadır. Dolgu oranının azalmasıyla birlikte, dolgu maddesinin miktarı azalmakta ve bunun sonucunda da homojen yük dağılımı etkilenmektedir. Bu da çekme gerilmesinin azalmasına neden olmaktadır.

Baskı açısının PLA numunelerin mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkilediği elde edilen sonuçlardan anlaşılmaktadır. %100 ve %75 dolgu oranlarında, 0° ve 45° baskı açılarındaki numuneler kendi aralarında kıyaslandığında, baskı açısının 0° olduğu numunelerin daha yüksek mekanik performans sergilediği görülmektedir. %100 dolgu oranında, 0° ve 45° baskı açılarındaki üretilen numuneler kıyaslandığında, 0° baskı açısındaki numunenin (PLA/100/0) çekme gerilmesinin 45° açıda üretilen numuneye (PLA/100/45) kıyasla yaklaşık %9 oranında daha fazla olduğu görülmektedir. Benzer şekilde, PLA/100/0 malzemenin elastisite modülünün ise PLA/100/45 numuneye kıyasla yaklaşık %24 daha fazla olduğu elde edilen sonuçlardan görülmektedir. 0° baskı açısındaki PLA numunelerde filamentlerin yönü ile çekme yönü aynı olduğundan, 0° baskı açısındaki PLA numuneler daha fazla yük taşımakta ve bu da mekanik özellikler üzerinde olumlu etki sağlamaktadır. Anizotropik malzemelerde fiberlerin yerleştirilme yönü, malzemenin mukavemeti, rijitliği ve diğer mekanik özellikleri üzerinde belirleyici bir faktördür. Fiberlerin yerleştirme yönüyle çekme yönünün aynı olması, dış kuvvetlerin en etkin şekilde fiberler aracılığıyla malzeme içinde taşınmasını sağlar. PLA numunelerde de filamentlerin çekme yönünde olması durumunda malzemelerin mukavemet ve rijitlikleri daha yüksek olmaktadır. Sonuç olarak, üretimde filamentlerin yönüyle çekme yönünün aynı olması, PLA malzemelerin çekme yönünde daha yüksek mukavemet, rijitlik ve dayanıklılık kazanmasına yardımcı olmaktadır. PLA bulk numunelerden elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, en iyi mekanik özelliklerin %100 dolgu oranında ve 0° baskı açısında üretilen numunede elde edildiği görülmektedir.

### 3.2. Bağlantı Numunelerinin Çekme Testinden Elde Edilen Sonuçlar

%100 ve %75 dolgu oranlarında, 0° ve 45° baskı açılarındaki PLA bulk numuneler kullanılarak üretilen 12,5, 25 ve 37,5 mm bindirme uzunluğuna sahip tek tesirli bağlantı numunelerinin çekme testi sonrası elde edilen ortalama hasar yükleri ve yer değiştirme (uzama) değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bağlantıların hasar yüklerinin bindirme uzunluğu, yapıştırılan malzemenin dolgu oranı ve baskı açısına bağlı olarak değiştiği görülmektedir. %100 dolgu oranında ve 0° baskı açısında üretilen bağlantı numunelerinin çekme testi sonrası elde edilen hasar yükleri incelendiğinde, 25 mm bindirme uzunluğuna sahip bağlantının (B-2/100/0) ortalama hasar yükünün 12,5 mm bindirme uzunluğuna sahip numuneye (B-1/100/0) kıyasla yaklaşık %56

oranında arttığı görülmektedir. Bindirme uzunluğu 37.5 mm olan numune ise (B-3/100/0), 12,5 ve 25 mm bindirme uzunluğuna sahip numuneye kıyasla sırasıyla yaklaşık %117 ve %39 oranında arttığı belirlenmiştir. Hasar yüklerinin bindirme uzunluğuna bağlı olarak sergilediği artış trendi %75 dolgu oranında,  $0^\circ$  ve  $45^\circ$  baskı açılarındaki numunelerde de görülmektedir. Yapıştırma bağlantılarında bindirme uzunluğu arttıkça yapıştırılan yüzey alanı artmaktadır. Daha fazla yapışma alanı ise bağlantılarda daha fazla yüzey teması sağlamaktadır. Bu yüzey teması, bağlanacak malzemeler arasında daha fazla temas noktası oluşturarak daha fazla kuvvet dağılımı sağlamaktadır. Bunun sonucunda, bağlantı daha homojen hale gelmekte ve daha sağlam bir bağ oluşturmaktadır.



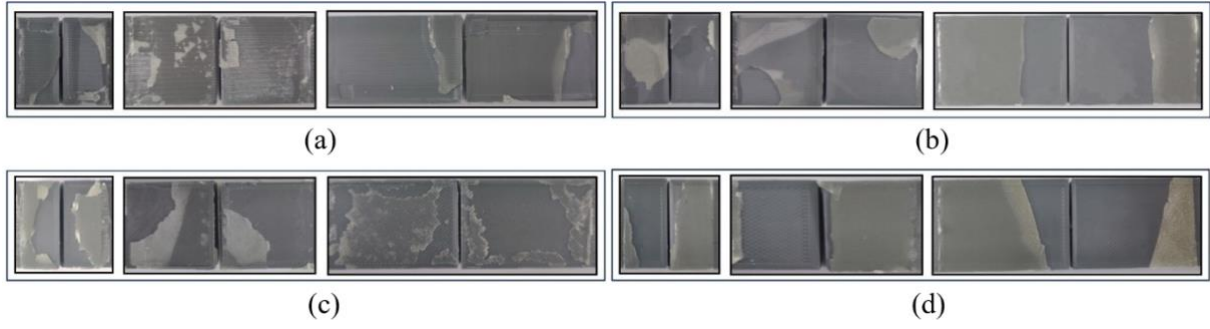
Şekil 6. Bağlantı numunelerinin çekme testi sonuçları; a) %100 dolgu ve  $0^\circ$  baskı açısı, b) %75 dolgu ve  $0^\circ$  baskı açısı, c) %100 dolgu ve  $45^\circ$  baskı açısı, d) %75 dolgu ve  $45^\circ$  baskı açısı

Şekil 6'da verilen sonuçlar incelendiğinde, bindirme uzunluğundaki artışın hasar yükünü artırdığı ancak artış oranının yapıştırılan malzemenin dolgu oranı ve baskı açısına bağlı olarak değişiklik gösterdiğini ortaya koymaktadır. Yapıştırılan malzemelerin dolgu oranı azaldıkça bağlantıların hasar yüklerinin azaldığı Şekil 6'da verilen çekme testi sonuçlarından anlaşılmaktadır. 25 mm bindirme uzunluğuna sahip  $0^\circ$  baskı açısında üretilen %100 ve %75 dolgu oranındaki

numunelerin hasar yükleri kıyaslandığında, %100 dolgu oranına sahip numunenin hasar yükünün %75 dolgu oranına sahip numuneden yaklaşık %21 oranında daha fazla olduğu görülmektedir. Benzer bulgular 45° baskı açısında üretilen numunelerde de görülmektedir. 45° baskı açısında ve %100 dolgu oranında üretilen PLA malzemeler kullanılarak 25 ve 37,5 mm bindirme uzunluğunda birleştirilen bağlantıların hasar yükleri, aynı açı ve bindirme uzunluğundaki %75 dolgu oranına sahip numuneler ile kıyaslandığında, %100 dolgu oranındaki numunelerin sırasıyla yaklaşık %14 ve %16 oranlarında daha fazla olduğu görülmektedir.

Yapıştırılan malzemelerin mekanik özellikleri (elastisite modülü) yapıştırma bağlantısının dayanımını önemli ölçüde etkilemektedir. Daha yüksek bir elastisite modülü daha yüksek bir dayanım sağlamaktadır. Bununla birlikte, yapıştırma bağlantılarının uç kısımlarında oluşan soyulma gerilmeleri, yapıştırma bağlantılarının dayanımını azaltmaktadır. Soyulma gerilmelerinin minimize edilmesi yapıştırma bağlantılarının performansının artırılması için önem arz etmektedir. Yapıştırılan malzemenin rijitliği arttıkça, yapıştırma bağlantılarının uç kısımlarında meydana gelen soyulma gerilmeleri azalmakta ve bu durum da bağlantıların dayanımını artırmaktadır. Diğer bir ifade ile, yapıştırılan malzemelerin rijitliğindeki artışın, oluşan moment etkisi ile numunelerin dönüşünü azalttığı ve yapıştırıcıdaki gerilmelerin daha düzgün dağılımını teşvik ettiği ifade edilebilir (Reis ve ark., 2011). Tablo 4'te verilen PLA bulk numunelere ait mekanik özellikler incelendiğinde, dolgu oranının azalmasıyla elastisite modülünün azaldığı görülmektedir. Ayrıca, elde edilen sonuçlar baskı açısının da elastisite modülü üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda, bağlantıların hasar yükleri ve yapıştırılan malzemelerin elastisite modülleri birlikte değerlendirildiğinde, dolgu oranı ve baskı açısına bağlı olarak hasar yüklerindeki azalmanın malzemelerin rijitliklerinden kaynaklandığı sonucuna varılabilir. 12,5 mm uzunluğuna sahip bağlantıların hasar yüklerinin birbirine yakın değerlerde olduğu görülürken, 25 ve 37,5 mm bindirme uzunluğuna sahip numunelerin hasar yükleri arasında yüksek farklar meydana gelmiştir. Bindirme uzunluğunun artmasıyla yapıştırma bağlantılarında meydana gelen hasarın soyulma gerilmelerinden kaynaklandığı ifade edilebilir. Elde edilen tüm sonuçlar birlikte değerlendirildiğinde, %100 dolgu oranı ve 0° baskı açısına sahip bağlantıların daha yüksek dayanım sergilediği belirlenmiştir.

Yapıştırma bağlantıları için tanımlanan hasar tipleri göz önüne alınarak, yapışma yüzeyleri incelendiğinde, tüm bağlantı numunelerinde büyük oranda yapıştırıcı tabaka ile yapıştırılan malzemenin ara yüzeyi arasında meydana gelen adezyon hasarının meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 7). Ayrıca, yapışma yüzeylerinin bazı lokal bölgelerinde ise özel kohezif hasarın (alt ve üst malzeme yüzeyinde eşit yapıştırıcı miktarının oluşmaması durumu) olduğu görülmüştür. Yapıştırılan PLA malzemeler düşük yüzey enerjisine sahip oldukları için, yapıştırıcı ile yapıştırılan malzeme arasında kuvvetli bağ oluşmamaktadır. Bu durumda, yüksek yüzey enerjisine sahip malzemelere kıyasla, daha düşük yüklerde bağlantıların hasara uğramasına sebep olmaktadır.



**Şekil 7.** Bağlantı numunelerinin hasar yüzeyleri; a) %100 dolgu ve 0° baskı açısı, b) %75 dolgu ve 0° baskı açısı, c) %100 dolgu ve 45° baskı açısı, d) %75 dolgu ve 45° baskı açısı

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Sunulan çalışmada; eriyik yığıma modelleme (EYM) teknolojisi ile farklı dolgu oranlarında (%100 ve %75) ve baskı açılarında (0° ve 45°) üretilen PLA malzemeler kullanılarak, farklı bindirme uzunluğuna (12,5, 25 ve 37,5 mm) sahip tek tesirli yapıştırma bağlantıları üretilmiş, PLA malzemelerin ve bindirme uzunluğunun bağlantı numunelerinin mekanik özellikleri üzerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Yapılan çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- 1) PLA malzemelerde dolgu oranı azaldıkça çekme dayanımı ve elastisite modülünün azaldığı, şekil değiştirme değerlerinin ise arttığı belirlenmiştir.
- 2) PLA malzemelerde baskı açısının mekanik özellikler üzerinde önemli etkisinin olduğu, çekme yönüne paralel (0°) üretilen numunelerde, yükün etkin bir şekilde filamentler aracılığıyla malzeme içerisinde taşınması nedeniyle, en iyi mekanik özelliklerin elde edildiği belirlenmiştir.
- 3) Yapıştırma bağlantılarının hasar yüklerinin, yapıştırılan malzemenin türüne göre değişiklik sergilediği, %100 dolgu oranında ve 0° baskı açısında üretilen malzemeler kullanılarak üretilen tek tesirli bağlantı numunelerinde en yüksek dayanım değerleri elde edilmiştir.
- 4) Yapıştırma bağlantılarında bindirme uzunluğunun artmasıyla hasar yüklerinin arttığı, hasar yüklerindeki artış oranının ise yapıştırılan malzemelerin rijitliklerine bağlı olduğu görülmüştür.
- 5) Yapıştırılan PLA malzemeler düşük yüzey enerjisine sahip oldukları için, yapıştırıcı ile çok güçlü bağ oluşturmadığı, büyük oranda adezyon ve bazı kısmi lokal bölgelerde özel kohesif hasarın (karışık modda hasar) meydana geldiği tespit edilmiştir.

Yapılan çalışma konusu geliştirilmeye müsait bir konudur. Bu kapsamda yürütülecek benzer çalışmalarda; PLA numunelerinin üretiminde farklı ekstrüzyon sıcaklıkları, yazdırma hızları, baskı açıları veya dolgu oranları dikkate alınarak daha etkin sonuçlar alınabilir. Ayrıca, PLA filament yerine ABS veya PETG filamentler kullanımı ile yeni araştırmalar hedeflenebilir.

## Yazarların Katkısı

KG: Konunun belirlenmesi, deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesi, makale yazımı, sonuçların yorumlanması, makalenin revizyonu, BÖ: Konunun belirlenmesi, makale yazımı ve incelenmesi, makalenin revizyonu, FY: Numunelerin üretimi, ED: Deneysel çalışmalar, testlerin gerçekleştirilmesi ve numunelerin hazırlanması sürecinin yazımı kısımlarında katkıda bulunmuşlardır.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Algarni, M., (2021). The influence of raster angle and moisture content on the mechanical properties of PLA parts produced by fused deposition modeling. *Polymers*, 13(2), 237.
- Anaç, N., Koçar, O., Hazer, B., (2022). Katmanlı İmalatla Üretilen Parçaların Birleştirilmesinde Yapıştırma Bağlantı Dayanımının İncelenmesi. *International Journal Of 3d Printing Technologies And Digital Industry*, 6(3), 449-458.
- Brancewicz-Steinmetz, E., Sawicki, J., Byczkowska, P., (2021). The influence of 3D printing parameters on adhesion between polylactic acid (PLA) and thermoplastic polyurethane (TPU). *Materials*, 14(21), 6464.
- Carbas, R. J. C., Marques, E. A. S., da Silva, L. F. M., Lopes, A. M., (2014). Effect of cure temperature on the glass transition temperature and mechanical properties of epoxy adhesives. *The Journal of Adhesion*, 90(1), 104-119.
- Choudhury, M. R., Debnath, K., (2021). Improving the mechanical performance of resistance-welded green composite joints using different heating elements. *Polymer Testing*, 94, 107059.
- Daminabo, S. C., Goel, S., Grammatikos, S. A., Nezhad, H. Y., Thakur, V. K., (2020). Fused deposition modeling-based additive manufacturing (3D printing): techniques for polymer material systems. *Materials Today Chemistry*, 16, 100248.
- Desai, S. M., Sonawane, R. Y., More, A. P., (2023). Thermoplastic polyurethane for three-dimensional printing applications: A review. *Polymers for Advanced Technologies*, 34(7), 2061-2082.
- Dhinakaran, V., Kumar, K. M., Ram, P. B., Ravichandran, M., Vinayagamorthy, M., (2020). A review on recent advancements in fused deposition modeling. *Materials Today: Proceedings*, 27, 752-756.
- Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., Zavattieri, P. D., (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *Computer-Aided Design*, 69, 65-89.
- Gültekin, K., Korkmaz, Y., (2021). AA 2024-T3 Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Farklı Yüzey Hazırlama Ve Pürüzlülük İşlemlerinin Yapıştırma Bağlantılarına Etkisi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(4), 1269-1281.

- Kamer, M. S., Temiz, Ş., Yaykaşlı, H., Kaya, A., Akay, O., (2022). Effect of Printing Speed on FDM 3d-Printed Pla Samples Produced Using Different Two Printers. *International Journal of 3d Printing Technologies And Digital Industry*, 6(3), 438-448.
- Kamer, M. S., Temiz, Ş., (2021). 3 Boyutlu Yazıcıda Abs Ve Pla Filamentler İle Farklı Tabla Ve Nozul Sıcaklıkları Kullanılarak Üretilen Çekme Test Numunelerinin Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24(4), 341-358.
- Kaygusuz, B., Özeriç, S., (2018). 3 Boyutlu Yazıcı ile Üretilen PLA Bazlı Yapıların Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. *Makina Tasarım ve İmalat Dergisi*, 16(1), 1-6.
- Khan, I., Tariq, M., Abas, M., Shakeel, M., Hira, F., Al Rashid, A., Koç, M., (2023). Parametric investigation and optimisation of mechanical properties of thick tri-material based composite of PLA-PETG-ABS 3D-printed using fused filament fabrication. *Composites Part C: Open Access*, 12, 100392.
- Khosravani, M. R., Soltani, P., Weinberg, K., Reinicke, T., (2021). Structural integrity of adhesively bonded 3D-printed joints. *Polymer Testing*, 100, 107262.
- Korkmaz, Y., Gültekin, K., (2023). Improving the mechanical performance of adhesively bonded CFRP composite joints exposed to harsh mediums with the reinforcement of boron nanostructures. *Journal of Adhesion Science and Technology*, 37(13), 1959-1982.
- Kumar, S., Singh, I. R., Kolor, S. S., Kumar, D., Yahya, M. Y., (2022). On Laminated object manufactured FDM-printed ABS/TPU multimaterial specimens: an insight into mechanical and morphological characteristics. *Polymers*, 14(19), 4066.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., Hui, D., (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
- Özer, H., Erbayrak, E., (2016). Experimental investigation on the self-healing efficiency of araldite 2011 adhesive reinforced with thermoplastic microparticles. *Adhesives: Applications and properties*, 169.
- Öz, Ö., Aydın, M., Kara, A. S., Sancak, M. S., (2018). Üç Boyutlu Yazıcılarda Kullanılan Doluluk Oranının Hasar Yüküne Olan Etkisinin Belirlenmesi. *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry*, 2(1), 32-39.
- Özsolak, O., (2019). Eklemeli imalat yöntemleri ve kullanılan malzemeler. *International Journal of Innovative Engineering Applications*, 3(1), 9-14.
- Penumakala, P. K., Santo, J., Thomas, A., (2020). A critical review on the fused deposition modeling of thermoplastic polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 201, 108336.
- Polat Çoban, N., Anaç, N., Mert, F., (2023). Eklemeli imalat ile üretilen PLA parçaların yapıştırılmasında yapıştırma parametrelerinin mekanik dayanımına etkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 26(3), 1145-1154.
- Rajan, K., Samyano, M., Kadrigama, K., Harun, W. S. W., Rahman, M. M., (2022). Fused deposition modeling: process, materials, parameters, properties, and applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 120(3-4), 1531-1570.
- Reis, P. N., Ferreira, J. A. M., Antunes, F., (2011). Effect of adherend's rigidity on the shear strength of single lap adhesive joints. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 31(4), 193-201.
- Tofail, S. A., Koumoulos, E. P., Bandyopadhyay, A., Bose, S., O'Donoghue, L., Charitidis, C., (2018). Additive manufacturing: scientific and technological challenges, market uptake and opportunities. *Materials today*, 21(1), 22-37.
- Zhou, Y., Yang, L., Zou, Q., Xu, S., Ma, M., Ye, C., (2023). A Comparative Applied study on optimizing printing parameters for six fused deposition modeling materials. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 32(12), 5249-5260.

## Giresun İlindeki Bazı Ortaokulların Hava Kalitesinin Ağır Metaller Yönünden Değerlendirilmesi

Hasan DEMİR<sup>1</sup>, Bahadır KOZ<sup>2\*</sup>

### Öz

Bu çalışmada, Giresun'daki bazı ortaokulların bahçesinden toplanan karayosunlarında ağır metal analizleri gerçekleştirilerek, okulların ağır metal kirliliği yönünden hava kalitesinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Karayosunlarında gerçek manada kök, gövde, yaprak bulunmamakta ve yapraklı yapılarında da kütikula ve epidermis tabakası olmadığından, havadaki ağır metalleri bünyelerinde biriktirebilmektedirler, bundan dolayı çok iyi biyoindikatör bitkilerdir. Ağır metaller, çocuklar üzerinde de olumsuz etkilere neden olduklarından, çocukların önemli vakitlerini geçirdikleri okulların hava kalitesi bu açıdan önemlidir. Bu çalışmada; Giresun'daki dört ortaokul il merkezinde ve bir beldede olmak üzere beş ortaokuldan toplam onaltı karayosunu numunesi ve dört karayosunu numunesi de kontrol bölgesi olarak kulakkaya yaylasından toplandı. Toplanan karayosunu numunelerindeki ağır metaller Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) cihazında analizler neticesinde belirlendi. Okul bahçelerinden toplanan karayosunlarının analizleri neticesinde ortalamaları; Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn ve Pb'un konsantrasyon değerleri sırasıyla 8214.67, 38.72, 16.76, 320.96, 10470.31, 4.65, 10.10, 33.69, 94.39 ve 23.80 olarak belirlendi. Kontrol bölgesinden toplanan karayosunlarının ortalama konsantrasyonları ise 3345.90, 11.00, 6.77, 2102. 2017.86, 1.39, 5.26, 7.91, 37.22 ve 3.17 olarak belirlendi. Analizler sonucunda, kontrol bölgesinden toplanan karayosunlarının ağır metal miktarlarının hepsi okul bahçelerinden toplanan numunelerin ağır metal miktarlarından az olduğu görülmüştür. Bu çalışma sonucunda; Okullarımızı, mümkün olduğunca insan kaynaklı kirlilikten uzak noktalara yapılması gerektiği bir kez daha ortaya konulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hava Kirliliği, Ağır Metal, Okul Bahçesi, Karayosunu.

## Evaluation of Air Quality of Some Middle Schools in Giresun Province in Terms of Heavy Metals

### Abstract

This study aims to evaluate the air quality of schools in terms of heavy metal pollution by performing heavy metal analyzes on mosses collected from the gardens of some secondary schools in Giresun. Since mosses do not have any real roots, stems or leaves, and since they do not have a cuticle or epidermis layer in their leafy structures, they can accumulate heavy metals in the air, therefore they are very good bioindicator plants. Since heavy metals also cause negative effects on children, the air quality of schools where children spend significant time is important in this respect. In this study; A total of sixteen moss samples were collected from five secondary schools, four in the city center and one in a town in Giresun, and four moss samples were collected from Kulakkaya plateau as a control region. Heavy metals in the collected moss samples were determined as a result of analysis on the Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer (ICP-MS) device. As a result of the analysis of mosses collected from school gardens, the averages are; The concentration values of Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn and Pb were determined as 8214.67, 38.72, 16.76, 320.96, 10470.31, 4.65, 10.10, 33.69, 94.39 and 23.80, respectively. The average concentrations of mosses collected from the control region were determined as 3345.90, 11.00, 6.77, 2102. 2017.86, 1.39, 5.26, 7.91, 37.22 and 3.17. As a result of the analysis, it was seen that the heavy metal amounts of the mosses collected from the control area were less than the heavy metal amounts of the samples collected from the school gardens. As a result of this study; It is once again demonstrated that our schools should be built in locations as far away from human-induced pollution as possible.

**Keywords:** Air Pollution, Heavy Metal, School Garden, Mosses.

<sup>1</sup>Millî Eğitim Bakanlığı, Aksu Ş.H.G Ortaokulu, Giresun, Türkiye, hasan-demir@msn.com

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Matematik ve Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Giresun, Türkiye, bahadirkoz@yahoo.com

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 14.02.2024

Kabul/Accepted: 09.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Hava kirliliği, İnsanlığın önemli bir çevre sorunudur. Hava kirliliği, çevreyi ve canlıları olumsuz etkilerken, kirlenici kaynaklardan havaya karışan maddeler havanın doğal yapısını bozmaktadır (Akdur, 2009). Ağır metaller, volkanik patlamalardan, kozmik ve toprak kaynaklı tozlardan, orman yangınlarından ve okyanus kaynaklı tuzlardan doğal olarak çevreye verilirken aynı zamanda insanlar tarafından da çevreye verilmektedir. İnsanlar çevreye, demir çelik sanayii, petrokimya tesisleri, gübre fabrikaları, karbon kaynaklı yakıt tüketen termik santraller, trafik gibi kaynaklardan ağır metal vermektedirler. (U.S. Government, 2001) Çevredeki ağır metallerin çoğu insanlar tarafından çevreye verilmektedir (Markert ve ark., 2003). Ağır metaller, İnsan ve canlı yaşamında risk oluştururlar. İnsanların aldığı ağır metal miktarı, kalıtsal yapısı, bağışıklığı ve genel sağlık durumu, yaşı ve beslenme şekli gibi faktörler insanlarda kanser gibi birçok hastalığa sebep olabilmektedir. Ağır metaller, Besin zinciri haricinde de canlıların bünyesine geçerek ciddi hasarlar verebilmektedir. Bundan dolayı, Dünyadaki birçok ilkedeki ağır metal monitörleme çalışmaları önem kazanmıştır.

Hava kirliliğinin monitörlenmesinin önemi son yıllarda giderek artmıştır. Hava kirliliği örnekleme çalışmalarında 5 yöntem kullanılır. Bunlar; Pasif ve aktif örnekleyiciler, otomatik analizörler, uzaktan algılayıcılar ve biyoindikatörlerdir. Karayosunu ve Likenler en çok kullanılan biyoindikatörlerdir. Likenler ve karayosunlarının gerçek manada kök, gövde ve yaprakları olmadığı için havayı absorblarlar. Karayosunları ve likenler geniş bir coğrafyada bulunurlar, kirliliğe karşı da duyarlı olduklarından dolayı ağır metal analizlerinde genellikle kullanılırlar (Çobanoğlu 2015).

Karayosunları, Biyoindikatör olarak ağır metal kirliliğinin tespitinde kullanılırlar ve ağır metalleri dokularında biriktirirler (Uyar ve ark., 2007). Karayosunları bazı özelliklerinden dolayı böyle çalışmalarda kullanılmaktadır: 1. Öncelikle Dünyanın birçok yerinde bulunurlar fakat Endüstri bölgeleri ve şehir merkezleri gibi yerlerde hava kirliliği açısından temiz bölgelere göre daha az bulunurlar 2. Yüksek bitkilerde olduğu gibi Kütikula ve epidermis tabakaları olmadığından metal iyonlarını kolayca emerler 3. Onlar buldukları substrat'dan mineralleri almak amacıyla organları bulunmaz, minerallerin çökmesi sonucunda birikim yaparlar. 4. Yüksek bitkilerde olduğu gibi gelişmiş bir iletim sistemi olmadığından dolayı minerallerin taşınması oldukça zayıftır. 5. Karayosunlarındaki metallerin birikmesi ve iyonların değişmesi pasif yollarla olmaktadır. 6. Karayosunlarında atmosferik birikimden dolayı çoğu metallerin fonksiyonlarına rastlanır (Rühling ve ark., 1998).



Hava kirliliğini ölçülmesinde alet kullanımı masraflı bir yöntemdir, bundan dolayı alternatifler bulunmuştur. Bu amaçla canlı organizmalar, biyoindikatörler kullanılmaya başlanmıştır ve bu yöntemleri de Wolterbeek tavsiye etmektedir (Wolterbeek, 2002).

Ağır metal kirliliğinin biyomonitörleme çalışmaları ülkemizde de son yıllarda hızla artmıştır ve bu çalışmalar daha çok şehir merkezlerinin kirlilik haritaları çıkartılmasında, trafik kaynaklı kirliliğin belirlenmesinde, fabrika ve enerji santrallerinin çevrelerinde yapılmaktadır. Okullarda ise bu tür çalışmalar genellikle iç ortam hava kalitesini belirlemek üzere yoğunlaşmaktadır.

Bu çalışmanın amacı; Giresun'daki bazı ortaokulların bahçesindeki karayosunlarının ağır metal analizlerini gerçekleştirilerek okulların ağır metal kirliliği yönünden hava kalitesini belirlemektir. Böyle bir çalışma bölgemizde ve ülkemizde ilk defa yapılmaktadır. Ağır metaller, çocukların gelişmesinde olumsuz bir etkiye sahiptirler. Bu çalışmamız ile Giresun İlindeki bazı ortaokullardaki ağır metal kirliliğini tespit etmek için karayosunları biyomonitör olarak kullanılmıştır. Tablo1'de ise çalışma alanında bulunan istasyonlar ve bu istasyonlardan toplanan karayosunu türleri verilmektedir. Okul bahçelerinden alınan örnekler, ICP-MS cihazı ile analiz edilmek üzere SUBİTAM (Sinop Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı)'a gönderildi ve analizler sonucunda karayosunlarında Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pb bu ağır metaller belirlendi ve hava kalitesi ağır metal kirliliği yönünden değerlendirildi.

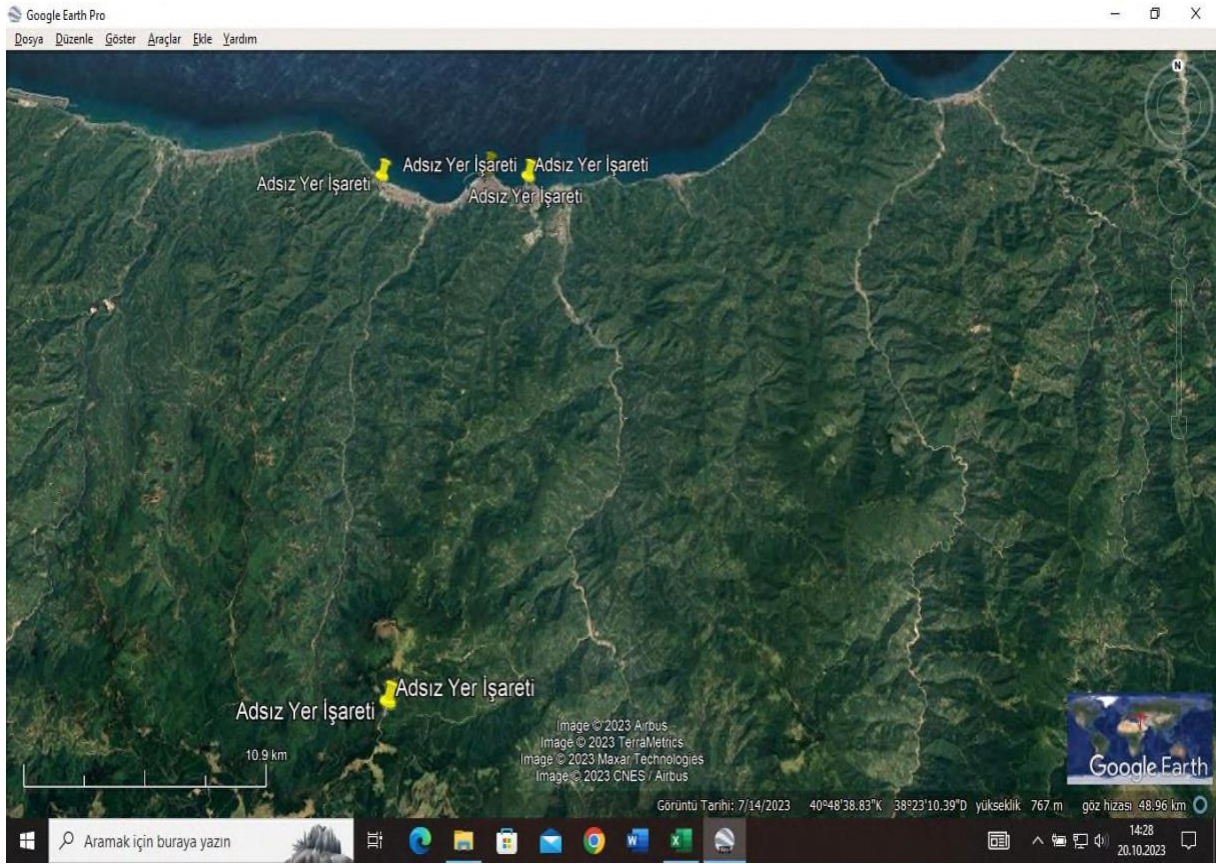
**Tablo 1.** ICP-MS çalışma koşulları ve ayarları.

Parameters	Settings	Parameters	Settings
Plasma flow	18.0 (l/min)	Corner lens	-193 (volt)
Auxiliary flow	1.80 (l/min)	Left mirror lens	45 (volt)
Nebulizer flow	0.90 (l/min)	Right mirror lens	33 (volt)
Sheath gas	0.15 (l/min)	Bottom mirror lens	38 (volt)
CRI gas He	160 (ml/min)	Entrance lens	-1 (volt)
CRI gas H2	100 (ml/min)	Fringe bias	2.5 (volt)
RF power	1.40 (kW)	Entrance plate	-39 (volt)
Sampling depth	6.5 (mm)	Pole bias	0 (volt)
Pump rate	4 (rpm)	Scan mode	Peak hopping
Stabilization delay	15 (s)	Dwell time	20 (ms)
Spray chamber	3 (°C)	Points per peak	1
First extraction lens	-1 (volt)	Scans/Replicate	50
Second extraction lens	-180 (volt)	Replicates/Sample	3
Third extraction lens	-226 (volt)		

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Bu çalışmada kara yosunu numunesi alınacak ortaokullar belirlenmiştir. Bu kapsamda Giresun Merkez ilçesine bağlı Güre Ortaokulu, Cumhuriyet Ortaokulu ve Gedikkaya Ortaokulu seçilmiştir. Kontrol bölgesi olarak da insan kaynaklı kirlilikten uzak Dereli İlçesine bağlı Kulakkaya Yaylası seçilmiştir. Çalışma alanı haritası Şekil 1'de sunulmuştur. SO<sub>x</sub> ve NO<sub>x</sub> 'ler, Karayosunlarının klorofillerini parçaladıkları için hava kirliliği olan bölgelerde karayosunlarına oldukça az rastlanır (Zechmeister ve ark., 2003).



Şekil 1. Çalışma Alanı Haritası1.

### 2.2. Örnekleme ve Hazırlama

23-24 Mayıs 2023 tarihlerinde arazi çalışmalarına çıkılmış ve belirtilen yerlerden kara yosunu numuneleri toplanmıştır. Toplanan numuneler kilitli polietilen torbalara konulmuş ve özellikleri not edilmiştir. Toplanan numuneler laboratuvara getirilerek, numuneler temizlendi, mikroskopla gerekli incelemeler gerçekleştirildi. The Moss Flora Britain and Ireland (Smith, 2004), Die Moos-und

Farnpflanzen Europas (Frey ve ark., 1985), Flora dei Muschi D'Italia (Pedrotti, 2001) gibi Flora kitapları kullanılarak karayosunu türleri belirlendi. Tablo 2'de Karayosunu türlerine ait bilgiler verilmektedir. Karayosunları daha sonra ağır metal analizleri yapılmak üzere Sinop Üniversitesi Merkez Araştırma Laboratuvarında bulunan ICP-MS spectrometre cihazına gönderildi.

**Tablo 2.** Çalışma alanı istasyonları ve Karayosunu Türleri.

Örnek Numarası	Lokasyon	Karayosunu Türleri
1	Güre Ortaokulu	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw.
2	Güre Ortaokulu	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw.)B,S,G,
3	Güre Ortaokulu	<i>Plagiothecium succulentum</i> (Wils,)Lindb,
4	Cumhuriyet Ortaokulu	<i>Eurhynchium hians</i> (Hedw,)Lac,
5	Cumhuriyet Ortaokulu	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw,)B,S,G,
6	Cumhuriyet Ortaokulu	<i>Tortella fragilis</i> (Hook & Wilson) Limpr.
7	Gedikkaya Ortaokulu	<i>Homolothecium sericeum</i> (Hedw,)B,S,G,
8	Gedikkaya Ortaokulu	<i>Leptodictyum riparium</i> (Hedw,)Warnst,
9	Gedikkaya Ortaokulu	<i>Tortella fragilis</i> (Hook & Wilson) Limpr.
10	Teyyaredüzü Ortaokulu	<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid,)Mitt,
11	Teyyaredüzü Ortaokulu	<i>Hypnum cupressiforme</i> Hedw,
12	Teyyaredüzü Ortaokulu	<i>cleropodium purum</i> (Hedw,)Limpr,
13	Yavuzkema1 YİBO	<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Schimp.
14	Yavuzkema1 YİBO	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw,) Schimp,
15	Yavuzkema1 YİBO	<i>Tortella tortuosa</i> (Hedw,)Limpr.
16	Yavuzkema1 YİBO	<i>Rhynchostegium murale</i> (Hedw,)Schimp.
17	Kulakkaya Yaylası- Kontrol Bölgesi	<i>Brachythecium albicans</i> (Hedw,)B,S,G,
18	Kulakkaya Yaylası- Kontrol Bölgesi	<i>Racomitrium canescens</i> (Hedw.) Brid.
19	Kulakkaya Yaylası- Kontrol Bölgesi	<i>Eurhynchium striatum</i> (Hedw,) Schimp,
20	Kulakkaya Yaylası- Kontrol Bölgesi	<i>Hypnum resupinatum</i> Tayl,

### 2.3. Inductively Coupled Plasma Mass Spectroscopy (ICP-MS) Analizleri

Mikrodalga çözme sisteminde 2 ml hidrojen peroksit ve 6 ml nitrik asit ile 1 gr numune çözüldü (CEM MARSX, 240/50, USA). Daha sonra 10 ml saf su ile seyreltildi (Turkmen ve Dura, 2016). Örnekler, 0.45 µm'lik filtrelerden geçirildi ve kalibrasyon standartları multi element standartları baz alınarak hazırlandı (Merck, Darmstadt, Almanya). Geri kazanım yüzdesi Ni için 93, Cu için 104, Cr için 113, Zn için 102, Cd için 91 ve Pb için 115. Numuneler, mgkg-1 yaş ağırlıkla bir ICP-

MS(BRUKER 820-MS, Almanya) kullanılıp 3 kez analizleri gerçekleştirildi (Turkmen ve Dura, 2016). Burada kullanılan ICP-MS'in çalışma koşulları Tablo 1'de verildi.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Tablo 3'te, Al, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd ve Pb'un ortalama konsantrasyonları sırasıyla 8214.67, 38.72, 16.76, 320.96, 10470.31, 4.65, 10.10, 33.69, 94.39 ve 23.80 mg.kg<sup>-1</sup>'dir. Tablo 4'te ise, Kontrol bölgesi karayosunlarının ortalama konsantrasyonları görülmektedir ve bu değerler sırasıyla 3345.90, 11.00, 6.77, 2102.47, 2017.86, 1.39, 7.01, 7.91, 37.22 ve 3.17 mg.kg<sup>-1</sup> şeklindedir. Çalışma bölgesindeki karayosunlarından elde edilen sonuçlar, kontrol bölgesinden elde edilen sonuçlara göre oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Çalışma bölgesi olarak belirlenen, Güre Ortaokulu, Cumhuriyet ortaokulu, Gedikkaya ortaokulu, Teyyaredüzü ortaokulu şehir merkezinde yer almakta ve etraflarındaki araç trafiği son derece yoğundur. Yavuz Kemal YİBO (Yatılı İlköğretim Bölge Okulu) ise Dereli ilçesine bağlı Yavuz kemal beldesindedir ve araç trafik yoğunluğu son derece azdır. Tablo 5'teki ortalama konsantrasyon sonuçlarına bakıldığında, Şehir merkezindeki okulların ortalama konsantrasyon sonuçlarının, Yavuz Kemal YİBO'daki ortalama konsantrasyon değerlerinden ve Kontrol bölgesindeki ortalama konsantrasyon değerlerinden oldukça yüksek olduğu net bir şekilde görülmektedir. Bu sonucun çıkmasındaki temel etken; Okulların çevresindeki araç trafiği ve insan kaynaklı kirliliktir.

Araç trafiği; Partikül büyüklüğü ve ağır metal kirliliği açısından havanın kirletilmesinde önemli bir kirleticidir (Thorpe ve Harrison, 2008) Araçların sebep olduğu ağır metaller; petrol kaynaklı yakıtlar, dizel motorları, lastiklerin kaplamaları, fren balataları, yüzey aşınması gibi çeşitli kaynaklardan çevreye verilmektedir.

Bunlarla birlikte; trafikteki sürekli dur-kalk hareketi de önemli bir ağır metal kirliliğine sebep olmaktadır. Bu hareket sebebiyle çevreye verilen Cu ve Pb 5 ile 9 kat arasında artmaktadır (Westerlund ve Johansson, 2002).

Okul bahçelerinden toplanan bütün karayosunu örneklerindeki ağır metal konsantrasyonları, kontrol bölgesinden toplanan karayosunu numunelerindeki ağır metal konsantrasyonlarının hepsinden daha yüksektir. Bu durumun temel nedenini şehirleşme, trafik yoğunluğu, araç sayısı, nüfus gibi çeşitli sebepler oluşturmaktadır. Bununla birlikte kurşunun esas kaynağını araçlardan çevreye verilen kurşunlu benzin oluşturur. Kurşun; Çocukların zeka gelişimini etkilerken, yetişkinlerde ise kardiyovasküler hastalıklara neden olmaktadır (Communities of the European Commission, 2002).

Trafiğin sebep olduğu Bakır ve Çinko ise araba frenleri ve araba lastiklerinden çevreye verilmektedir (Zechmeister ve ark., 2005). Hulskotte ve arkadaşları da, Hollanda'daki trafik kaynaklı

Bakır kirliliğinin %80'inin araçların fren balatalarından kaynaklandığını gösterdiler (Hulskotte ve ark., 2007).

Trafik kaynaklı, Cu, Zn ve Co'da arabalar ve kamyonlar tarafından çevreye verilmektedir (Garg ve ark., 2000). Krom, Mangan, Demir ve Nikel ise Dünyanın yer kabuğunda da buluna elementlerdir. İnsanlar, ağır metaller bulunan tehlikeli kimyasal atıkların yakınında yaşamaktadırlar. Kobalt'ın akut toksisitesi, astım ve pneumonia gibi akciğer rahatsızlıklarına sebep olabilmektedir. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı, Kobalt ve Krom'un kanserojen olduğunu belirtmektedirler (IARC, 1993). Yüksek miktarda Krom solunursa Akciğerlere, mideye ve bağırsaklara zarar vermektedir. Nikel ise insanlarda alerjilere neden olabilmektedir. Bütün bu ağır metaller çevreye ayrıca gübreler, endüstriyel atıklar, oto egzostları ve araç akaryakıtlarından verilebilmektedir (Koz ve ark., 2008).

Sonuçlar Tablo 6'de Literatürdeki bazı çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Tablo 6'dan da görüldüğü gibi Avrupa'daki diğer ülkelerle kıyaslandığında bizim çalışmamızdan elde edilen sonuçların oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum Türkiye'de önemli çevre problemlerin varlığını göstermektedir.

Türkiye'de 2007 yılında kurşunlu benzin kullanımı yasaklandı ve akabinde sonra karayollarındaki kurşun konsantrasyonlarında önemli bir düşüş olduğu 2006 ve 2017 yıllarında yapılan çalışmalarla ortaya konuldu (<http://www.ekonomihaber7.com>; 8.Mart.2018)). Doğadaki kurşun kirliliğinin ana kaynağı kurşunlu benzindir. Kurşun kirliliği nüfus, şehirleşme ve araç sayısı ile ilişkili olup hem çocukların hem de yetişkinlerin sinir sistemini etkiler. Kurşuna yüksek oranda maruz kalmak çocukların beyin ve böbreklerine zarar verirken yetişkinlerin ölümüne neden olabilmektedir (ATSDR, 2003).

Vanadyum, beyin sınırlarını ve kan damarlarını geçebilen bir ağır metaldir (Mukherjee ve ark., 2004). Krom, karbonhidratlar ve lipid metabolizmasının temel elementi olması ile birlikte, eksikliği durumunda kardiyovasküler hastalıklar ortaya çıkabilmektedir (World Health Organization, 1988). Mangan ile kirlenmiş bir çevrede, mongolizm ve nörolojik hastalıklar görülebilmektedir (World Health Organization, 1980).

Kadmiyum insan tarafından çevreye verilen bir toksik elementtir. İnsanlar sigara dumanından veya yiyeceklerden kadmiyuma maruz kalabilirler. Aşırı Bakır'ın sebep olduğu toksite oldukça nadir görülmektedir, kadmiyum ise gastrointestinal sıkıntılara sebep olabilmektedir (World Health Organization, 1992).

Nikel toksisitesi gelişimi yavaşlatabilir ve anemiye sebep olabilir (World Health Organization, 1991). Aşırı çinko çevre kirliliğine sebep olur. (World Health Organization, 2001).

Ozaki ve arkadaşları da fren balatalarından, trafikteki dur-kalk hareketlerinden, lastik kaplamalarından ve asfaltlardan çevreye Zn, Cd, Ni emisyonları verildiğini belirtmektedirler (Ozaki ve ark., 2004).

Hava yoluyla taşınan ağır metaller, ekosisteme girerler ve bu ekosistemlerin bileşenleri için az veya çok bir tehdit oluşturabilirler. Herpin ve ark., (1996)'da yaptıkları çalışmada, ağır metallerin topraktaki canlı organizmalar üzerinde zararlı bir etkiye sahip olabileceğini gösterdiler.

Vanderpoorten ve goffinet (2009), Briyofitlerin çevre koşullarına dayanarak morfolojik karakterlerinin değiştiğini söylemektedirler. Substrat konsantrasyonlarını da dikkate alarak, analiz edilen karayosunu örneklerinin konsantrasyonlarında değişiklikler gözlenmektedir. Böyle bir varyasyon, karayosunlarının yaprak yüzey alanlarından, karayosunlarının morfolojik ve anatomik yapılarından, rüzgar yönünden, element konsantrasyonlarından ve havadaki nem gibi diğer çevresel faktörlerden etkilenebilmektedir (Koz ve ark., 2008).

**Tablo 3.** Karayosunlarındaki ağır metal konsantrasyonları (mg/kg).

Örnek numarası	Al (mg/kg)	V (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)
1	11229.59	51.27	18.54	558.06	17278.43	7.42	11.66	41.18	159.66	39.09
2	13359.42	82.94	17.64	906.65	26915.66	1.08	11.46	41.71	140.43	47.37
3	14812.79	84.30	19.87	797.12	24901.72	9.82	12.00	55.53	159.70	43.84
4	4735.38	24.15	12.61	59.79	7344.98	2.05	5.96	39.01	16.85	45.65
5	6175.90	28.26	15.90	173.14	8916.65	3.57	10.21	56.07	207.58	42.89
6	9898.86	49.82	27.21	116.38	15506.00	5.02	11.16	55.40	158.63	57.97
7	12806.87	57.13	26.22	546.04	17635.79	8.05	15.32	43.88	90.47	12.73
8	4790.90	20.21	13.55	162.72	6072.60	2.87	6.44	25.92	80.84	9.37
9	8758.22	38.62	43.15	320.37	11461.64	4.93	11.88	34.90	99.69	18.61
10	5510.11	25.04	9.37	229.49	7104.94	2.95	6.89	25.88	68.26	12.18
11	5310.93	23.47	8.45	137.70	6248.07	2.45	5.84	21.96	60.65	11.57
12	2666.20	14.37	5.92	140.67	4452.95	2.01	4.95	32.94	59.96	11.90
13	2231.78	8.83	4.08	70.64	2250.45	11.35	22.49	32.72	61.65	10.18
14	11162.19	40.52	16.83	347.30	1059.64	5.24	13.18	15.22	48.07	9.34
15	14386.67	56.61	23.81	465.87	8687.36	3.93	10.61	14.46	47.95	5.05
16	3598.93	14.11	5.01	103.43	1688.11	1.79	1.57	2.35	49.90	3.09
Ortalama	8214.67	38.72	16.76	320.96	10470.31	4.65	10.10	33.69	94.39	23.80
Max,- Min Değerler	14812.79- 2231.78	84.30-8.83	43.15-4.08	906.65-59.79	26915.66- 1059.64	11.35- 1.08	22.49- 1.57	56.07- 2.35	207.58-16.85	57.97-3.09

N,D,= Dedekte edilmeyenler

**Tablo 4.** Kontrol bölgesindeki Karayosunlarındaki ağır metal konsantrasyonları (mg/kg).

Örnek numarası	Al (mg/kg)	V (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)
17	1532.14	5,86	3.77	1310.25	1740.83	1.33	4.81	7.71	29.77	3.70
18	4245.71	14.15	8.69	4590.41	2374.05	1.93	6.09	8.49	49.81	3.18
19	4470.04	13.98	8.56	1344.21	2230.20	1.29	5.70	8.43	39.63	3.83
20	3135.72	10.04	6.06	1165.04	1726.37	1.03	4.45	7.02	29.68	1.98
Ortalama	3345.90	11.00	6.77	2102.47	2017.86	1.39	5.26	7.91	37.22	3.17
Max,- Min Değerler	4470.04- 1532.14	14.15-5.86	8.69-3.77	4590.41- 1165.04	2374.05- 1726.37	1.93- 1.03	6.09- 4.45	8.49- 7.02	49.81-29.68	3.83-1.98



**Tablo 5.** Okul Bahçeleri ve Kontrol bölgesinden toplanan karayosunlarının ortalama, en büyük ve en küçük değerleri.

	Al (mg/kg)	V (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Co (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Pb (mg/kg)
Güre Ortaokulu Ortalama	13133.93	72.83	18.68	753.94	23031.81	6.10	11.70	46.14	153.26	43.43
En büyük-En küçük değer	14812.79-11229.59	84.30-51.27	19.87-17.64	906.65-558.06	26915.66-17278.43	9.82-1.08	12.00-11.46	55.53-41.18	159.70-140.43	47.37-39.09
Cumhuriyet Ortaokulu Ortalama	6936.71	34.07	18.57	116.43	10589.21	3.54	9.25	50.16	127.68	48.83
En büyük-En küçük değerler	9898.86-4735.38	49.82-24.15	27.21-12.61	376.33-212.37	15506.00-7344.98	5.02-2.05	11.16-5.96	56.07-39.01	207.58-16.85	57,97-42.89
Gedikkaya Ortaokulu Ortalama	8785.33	38.65	27.64	343.04	11723.34	5.28	11.21	34.9	90.31	13.57
En büyük-En küçük değerler	12806.87-4790.90	57.13-20.21	43.15-13.55	546.04-162.72	17635.79-6072.60	8.05-2.87	15.32-6.44	43.88-25.92	99.69-80.84	18.61-9.37
Teyyaredüzü Ortalama	4495.74	20.96	7.91	169.28	5934.66	2.47	5.89	26.92	62.33	11.88
En büyük-En küçük değerler	5510.11-2666.20	25.04-14.37	9.37-5.92	229.49-137.70	7104.94-4452.95	2.95-2.01	6.89-4.95	32.94-21.96	68.26-59.96	12.18-11.57
Yavuz kemal YİBO Ortalama	7844.25	30.01	12.43	246.81	3421.39	5.57	11.96	16.18	51.89	6.91
En büyük-En küçük değerler	14386.67-2231.78	56.61-8.83	23.81-4.08	465.87-70.64	8687.36-1059.64	11.35-1.79	22.49-1.57	32.72-2.35	61.65-47.95	10.18-3.09
Kontrol bölgesi Ortalama	3345.90	11.00	6.77	2102.47	2017.86	1.39	7.01	7.91	37.22	3.17
En büyük-En küçük değer	4470.04-1532.14	14.15-5.86	8.69-3.77	4590.41-1165.04	2374.05-1726.37	1.93-1.03	6.09-4.45	8.49-7.02	49.81-29.68	3.83-1.98

**Tablo 6.** Literatürdeki bilgilerle mevcut çalışmanın elementel konsantrasyon sonuçlarının kıyaslanması (mg/kg).

	V(mg/kg) (Harmens ve ark., 2007)	Cr(mg/kg) (Harmens ve ark., 2007)	Mn(mg/kg) (Harmens ve ark., 2007)	Fe(mg/kg) (Harmens ve ark., 2007)	Co(mg/kg) (Harmens ve ark., 2007)	Ni(mg/kg) (Harmens ve ark., 2007)	Cu(mg/kg) (Harmens ve ark., 2007)	Zn(mg/kg) (Harmens ve ark., 2007)	Cd(mg/kg) (Harmens ve ark., 2007)	Pb(mg/kg) (Harmens ve ark., 2008)	Yıl	Kaynaklar
Finlandiya	3,36	1,47	N,D	357	N,D	1,70	5,07	35,9	0,26	9,9	1990	(Harmens ve ark., 2007)
Finlandiya	1,24	1,06	N,D	210	N,D	1,38	3,38	27,6	0,12	3,0	2000	(Harmens ve ark., 2007)
Fransa	2,46	3,16	N,D	549	N,D	1,94	5,30	32,4	0,20	8,8	1995	(Harmens ve ark., 2007)
Fransa	2,89	1,69	N,D	654	N,D	2,30	6,40	40,4	0,20	5,7	2000	(Harmens ve ark., 2007)
Almanya	2,87	1,83	N,D	561	N,D	2,38	9,13	50,2	0,31	12,9	1990	(Harmens ve ark., 2007)
Almanya	1,06	0,91	N,D	343	N,D	1,13	7,14	41,0	0,21	4,6	2000	(Harmens ve ark., 2007)
Romanya	12,53	10,85	N,D	5114	N,D	8,41	18,42	69,1	1,02	35,1	1990	(Harmens ve ark., 2007)
Romanya	7,99	8,46	N,D	2518	N,D	3,35	21,56	79,6	0,46	14,4	2000	(Harmens ve ark., 2007)
Sarp- Samsun otoyolu		52,2	790,5	40090	11,6	17,2	267,5	175,5	0	39,1	2006	(Koz ve ark., 2008)
Sarp- Giresun Otoyolu	27,00	18,19	333,58	5413,12	8,21	55,45	42,46	101,15	0,36	23,26	2017	(Koz ve ark., 2017)
Giresun Okul Bahçeleri	38,72	16,76	320,96	10470,31	4,65	10,10	33,69	94,39	N,D	23,80	2023	Mevcut çalışma

N,D,= Dedekte edilmeyenler

#### 4. Sonuçlar ve neriler

Okul bahçelerinden toplanan numunelerde ağır metal konsantrasyonlarının, trafik yoğunluğundan uzak kontrol bölgesine göre oldukça yüksek olduğu belirlendi. Bu durum, trafik yoğunluğunun okul bahçelerine ağır metal verdiğini göstermiştir. Okullar trafik yoğunluğunun az olduğu bölgelere yapılmalıdır. Karayolları ile okul bahçeleri arasına birkaç sıra halinde ağaç bariyerleri yerleştirilmelidir. Okul bahçeleri daha yeşil ve daha büyük alanlardan oluşmalıdır.

evre kontrolü için karayosunlarının ideal indikatör canlılar olduğu bir kez daha ortaya konulmuştur.

#### Teşekkür

Bu alışma Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FEN-BAP-C-230123-10 nolu proje kapsamında desteklenmiştir.

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

#### ıkar atışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar atışması bulunmamaktadır.

#### Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

#### Kaynaklar

- Akdur, R. (2009). Hava Kirliliği ve ozmler. Halk Sağlığı ile İlgili Güncel Sorunlar ve Yaklaşımlar” Ankara Tabipler Odası, Ankara, 151.
- U.S. Government. Control of emissions of hazardous air pollutants from mobile sources; final rule. Federal register 40, CFR parts 80 and 86. US Government Printing Office, Washington, DC; 2001.
- Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G. Bioindicators&Biomonitoring, Principles, Concepts and Applications. London, 334; 2003.
- obanoğlu, G. (2015). The use of lichens for biomonitoring of atmospheric pollution. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 33(4), 591-613.
- Uyar, G., Oren, M. and Đnce, M., 2007. Atmospheric Heavy Metal Deposition in Duzce Province by Using Mosses as Biomonitoring. Fresenius Environmental Bulletin, 16, 145-153.

- Koz, B., Cevik, U., Ozdemir, T., Duran, C., Kaya, S., Gundogdu, A., Celik, N., 2008. Analysis of Mosses along Sarp-Samsun Highway in Turkey. *Journal of Hazardous Materials*, 153, 1-2, 646-654.
- Rühling, Å., & Steinnes, E. (Eds.). (1998). Atmospheric heavy metal deposition in Europe 1995-1996. Nordic Council of Ministers.
- Wolterbeek, B., 2002. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environmental Pollution*, 120 (1); 11–21.
- Zechmeister, H.G., Hohenwallner, D., Riss, A., Hanus-Illnar, A., 2005. Estimation of element deposition derived from roadtraffic sources by using mosses. *Environmental Pollution*, 138; 238-249.
- Smith, A. J. E. The moss flora of Britain and Ireland. Edinburgh: Cambridge University Press; 2004.
- Frey, W., Frahm, J. P., Fischer, E., Lobin, W. Die Moosund Farnpflanzen Europas. Stuttgart: G. Fischer; 1985.
- Pedrotti, C. C. Flora Dei Muschi D'Italia. Rome: Antonia Delfino Editore; 2001.
- Turkmen, M., Dura, N., 2016. Assessment of heavy metal concentrations in fish from south western black sea. *Indian Journal of Geo-Marine Science*, 45(11); 1552-1559.
- Thorpe A., Harrison, R.M., 2008. Sources and properties of non-exhaust particulate matter from road traffic: a review, *Science of the Total Environment*, 400; 270-282.
- Westerlund, K.G., Johansson, C. Emissions of metals and particulate matter due to wear of brake linings in Stockholm. In: Brebbia, C.A., Martin-Duque, J.F.(Eds), *Air Pollution X*. WIT Press, Southampton, pp793-802; 2002.
- Communities of the European Commission, 2002. Commission Regulation (EC) 221/2002 of 6 February 2002 amending regulation (EC) No.466/2002 setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Official journal of the European Communities*. Brussels, 6 February 2002; 2008.
- Hulskotte, J.H.J., Denier van der Gon, H.A.C., Visschedijk, A.J.H., Schaap, M., 2007. Brake wear from vehicles as an important source of diffuse copper pollution. *Water Science & Technology*, 56; 223-231.
- Garg, B.D., Cadle, S.H., Mulawa, P.A., Groblicki, P.J., Laroo, C. and Parr, G.A., 2000. Brake wear particulate matter emissions. *Environmental Science Technology*, 34; 4463-4469.
- IARC., 1993. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 58, Lyon, France. <http://www.ekonomihaber7.com> (8.Mart.2018)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Division of Toxicology, Clifton Road, NE, Atlanta, GA, available at: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/>.
- Mukherjee, B., Patra, B., Mahapatra, S., Banerjee, P., Tiwari, A., Chatterjee, M., 2004. Vanadium-An element of atypical biological significance. *Toxicology Letters*, 150; 135-143.
- World Health Organization. Environmental Health Criteria 58- Chromium. Geneva: WHO; 1988a. World Health Organization. Environmental Health Criteria-Manganese. Geneva: WHO; 1980b World Health Organization. Environmental Health Criteria- Cadmium. Geneva: WHO; 1992 World Health Organization. Environmental Health Criteria- Nickel. Geneva: WHO; 1991a
- World Health Organization. Environmental Health Criteria- Zinc. Geneva: WHO; 2001a
- Ozaki, H., Watanabe, I., Kuno, K., 2004. Investigation of the heavy metal sources in relation to automobiles. *Water, Air&Soil Pollution*, 157; 209-223.
- Herpin, U., Berlekamp, J., Markert, B., Wolterbeek, B., Grodzinska, K., Sievers, U., Lieth, H., Weckert, V., 1996. The distribution of heavy metals in a transect of the three states Netherlands, Germany and Poland determined with the aid of moss monitoring. *Science of the Total Environment*, 187; 185-198.
- Vanderpoorten, A., Goffinet, B. Introduction to bryophytes. New York: Cambridge University Press; 2009.

## İçme Suyu Altyapısının Mekânsal Yönetimi için Örnek Bir Coğrafi Bilgi Sistemi Tasarımı ve Uygulaması: Trabzon Büyükşehir Belediyesi Özel Durum Çalışması

Yakup Emre ÇORUHLU<sup>1\*</sup>, Sait Semih ALTAŞ<sup>2,3</sup>

### Öz

Kentin tamamına hizmet sunan ve bir bütün halinde ele alınması gereken altyapı tesisleri, tıpkı kentler gibi, düzenli ve planlı bir şekilde inşa edilmelidir. İnşa edilen altyapı tesisleri zamanla eskimekte ve hizmet veremez duruma da gelebilir. Altyapı tesislerinin yenilenmesi veya değiştirilmesi sırasında, gerekli bakım-onarım ve yenileme çalışmaları mümkün olan en kısa zamanda tamamlanmalıdır. Bu altyapı tesisleri dijital ortamda haritalara aktarılamamış, çoğu zaman kurumsal değil kişi odaklı bilgilerle yönetile gelmiştir. Altyapı tesislerinin imalat, bakım, onarım ve yönetim süreçlerinin bir sistem dâhilinde, zamanında ve etkili bir şekilde yapılamaması bir problem durumudur. Böylesi bir hizmeti sağlamanın tek yolu, geçmişteki klasik yöntemlerden farklı olarak, günümüz bilişim, CBS ve GNSS teknolojilerinin birlikte kullanımından geçmektedir. Çalışmanın amacı, güncel haritacılık teknolojileri ve bilişim imkânlarını kullanan bir yöntemle altyapı tesislerinin önemli bir bileşeni olan içme suyu tesislerinin etkili bir şekilde yönetilmesidir. Özellikle LADM'nin ISO standardına dönüşmesinden sonra ülkemizde yürütülen TUCBS çalışmaları ve birçok akademik çalışma LADM'ye uygun şekilde UML diyagramları ile modellenmiştir. Çalışma kapsamında bu modelleme dili ile UML diyagramları hazırlanmış ve ardından CBS veri tabanı kurulmuştur. Çalışmadan elde edilen önemli sonuç; Trabzon kenti ilçe merkezlerinin tüm içme suyu altyapısı konumsal sorgulamalara imkân veren bir yapıda sisteme aktarılacak arıza tespit, bakım ve onarım süreçlerinin en kısa zamanda ve en az maliyetle yürütülmesinin sağlanmış olmasıdır. Bu konu ile ilgili araştırma yapanlara, içme suyu altyapı tesis bileşenlerinin dijital ortama aktarılması yanında sistemleriyle abonelerin de ilişkilendirilmesi tavsiye edilebilir. Ayrıca olası bakım, onarım ve arıza durumlarında, sadece bu işlemlerden etkilenen abonelerin bilgilendirilmesine imkân veren bir yapıda bilgi sistemlerini tasarlamaları da önerilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** sürdürülebilir arazi yönetimi, arazi nesnesi, altyapı tesisi, içme suyu, LADM, UML, veri modeli.

## The Geographic Information System Design and Application for Spatial Management of Drinking Water Infrastructure: Trabzon Metropolitan Municipality Special Case Study

### Abstract

Infrastructure facilities, which serve the whole city and should be considered as a whole, should be built in a regular and planned manner, just like cities. Infrastructure facilities that are built become overused/worn-out over time and may become unserviceable. During the renovation or replacement of infrastructure facilities, the necessary maintenance-repair and renovation works should be completed as soon as possible. These infrastructure facilities have not been transferred completely to maps in the digital environment, and they have mostly been managed with person-oriented information rather than institutional. The manufacturing, maintenance, repair and governance processes of infrastructure facilities cannot be carried out in a timely and effective manner within a system is a problem on which this study is focused. The only way to provide such a service is to use today's informatics, GIS and GNSS technologies together, unlike the classical methods in the past. The study aims to effectively manage drinking water facilities, which is an important component of infrastructure facilities, with a method using up-to-date cartography technologies and informatics opportunities. Especially after the conversion of LADM to ISO standards, TNGIS studies and many academic studies carried out in our country have been modeled with UML diagrams by LADM. Within the scope of the study, UML diagrams were prepared with this modeling language and then a GIS database was established. The whole of the drinking water infrastructure of the study area was transferred to geographical information system. Thanks to this information and system, spatial inquiries, fault detection, maintenance and repair processes can be carried out in minimum time and cost. It can be recommended to those who do research on this subject, besides transferring the components of the drinking water infrastructure to the digital environment, as well as linking the subscribers with their systems. In addition, it can be suggested that they design information systems in a structure that allows only those who will be affected by these processes to be informed in case of possible maintenance, repair and malfunction.

**Keywords:** sustainable land management, land object, infrastructure facility, drinking water, LADM, UML, data model.

<sup>1</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü, Trabzon, [yecoruhlu@ktu.edu.tr](mailto:yecoruhlu@ktu.edu.tr)

<sup>2</sup> Trabzon İçmesuyu ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, Coğrafi Bilgi Sistemleri Şubesi, Trabzon, [ssaltas@gmail.com](mailto:ssaltas@gmail.com)

<sup>3</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, [ssaltas@gmail.com](mailto:ssaltas@gmail.com)

## 1. Giriş

Dünya nüfusu kırdan kente yoğun bir şekilde hareket etmektedir (Weeks, 2010). Gerek kır ve gerekse kentte yaşayan tüm canlılar ise suya ihtiyaç duymaktadır (Omole ve Ndambuki, 2014). Dünya nüfusunun artmasının yanında küresel ısınma, sera gazı yayılımı, sınırlı arazi kullanımı, erozyon, doğal kaynakların tüketilmesi gibi faktörler yaşam döngüsünü tehdit etmektedir (Delgado vd., 2011; Lal, 2012). Özellikle temiz su kaynaklarını tehlike altına atmaktadır. Zira su kaynaklarının sınırsız olmaması canlılar için büyük bir tehlike oluşturabilir (Gleick, 1998). Böylesi tehlike durumlarında su yönetiminin etkin yapılması önem kazanır (Pedro-Monzonís vd., 2015).

İnsanlar için suyun kaynağından alınarak kullanıcılara ulaştırılması çok önemli olup son yıllarda temiz su, suyun tasarrufu, altyapı çalışmaları, maliyetlerin abonelere minimum düzeyde yansıtılması gibi konularda yapılan çalışmaların hızlandığı görülmektedir (Bozkurt ve Arslan, 2017).

İçme suyu tesisleri altyapısı kendi içinde farklı parçalardan oluşan bütüncül bir altyapı bilgi sistemi ile ele alınmalıdır (Kang ve Lansey, 2013). Günümüzde çoğu mevcut içme suyu hatlarının metraj bilgileri, konum ve sözel bilgileri kesin olarak bilinmemektedir. Hızlı kentleşmenin getirdiği yoğun altyapı yatırımları esnasında veya sonrasında toprağın altında kalan sistemlere ilişkin bilgilerin düzenli bir şekilde kayıt altına alınmamış olması bu durumun temel sebeplerindedir. Altyapı haritalarının ya da krokilerinin bulunmaması veya olup da kullanılmaması sonucu bu altyapı sistemlerine ilişkin bilgiler sadece belirli kişilerde sözel ve gelişigüzel olarak bulunabilmektedir. Ancak söz konusu kişilerin belli sebeplerle görev yaptıkları su iletiminden sorumlu kurumdan ayrılması, emekli olması, istifa etmesi, vefat etmesi gibi durumlarda su sistemlerinin yönetimi olumsuz etkilenebilmektedir. Genellikle ortaya çıkan bir arıza, kesinti, koku ya da yaşanabilecek bir sel felaketi ile varlığı akla gelen bu sistemler, bir coğrafi altyapı bilgi sistemi şeklinde ele alınmalıdır (Alıcı ve Özaslan, 2016).

Altyapı yönetiminde hatların ve diğer şebeke elemanlarının bilgilerinin yetersizliği sahada yapılan uygulamalarda birçok problem doğurmaktadır. Özellikle altyapı hat ve elemanlarının konum bilgilerinin olmaması, arıza durumlarında plansız ve yüzeysel yöntemlerle sorunun çözülmeye çalışılması ve kriz anı süreçlerinin iyi yönetilememesi meydana gelebilecek önemli problemlerdendir (Bayraktar, 2019).

İçme suyu altyapısının yönetim metotlarından birisi coğrafi bilgi sistemlerinin bir alt kolu olan altyapı bilgi sistemleridir (Cardoso, 2012). Mevcut içme suyu potansiyelini yönetmek, kayıp-kaçak oranını düşürebilmek, parasal ve zamansal olarak kar etmek bu bilgi sistemleri ile sağlanabilir (Ahopelto ve Vahala, 2020). İçme suyu altyapısı ve bu altyapıya ait arızalar coğrafi bilgi sistemi içinde konumsal ve sözel sorgulamalara imkân verecek şekilde akıllandırılabilir (Zhao, 2020). Bu veriler bir coğrafi veri tabanına aktarılarak depolanabilir, sorgulanabilir, yayınlanabilir ve analiz

edilebilir (Clarke vd., 1996). Altyapı ile ilgilenen kurumların çalışan ve yönetici gibi kişilerden bağımsız; istenilen zamanda dinamik bir şekilde veri alışverişi, sorgu, analiz, planlama, arşivleme yapabileceği bir bilgi sistemine ihtiyaçları vardır (İşitmezoğlu ve Ataman, 2007). Bilindiği üzere, içme suyu şebekesinde herhangi bir arıza durumunda, ilgili birim arızayı en erken şekilde tespit edip sorunu gidermek ister. Fakat arıza durumu bitip suyun tekrardan abonelere ulaştığı andan itibaren arazi konumu ve arazi türü, hafızalardan silinebilmektedir. Altyapı bilgi sistemi ile arızaların konumsal ve sözel bilgisinin yer aldığı kayıtlar ve bu kayıtlar ile oluşan arıza yoğunluk durumunun takibi de mümkündür (Altaş, 2022).

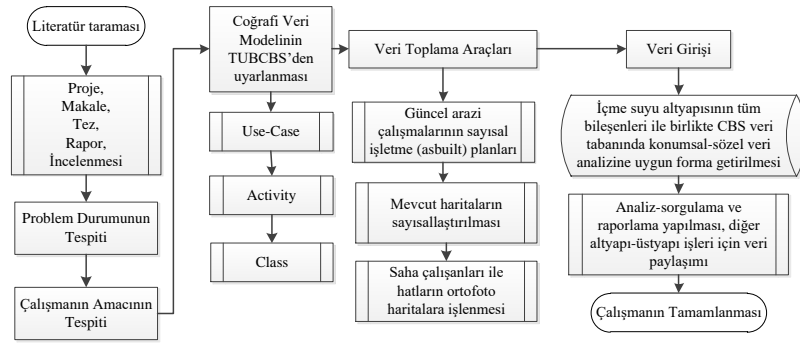
Infrastructure for Spatial Information in Europe (INSPIRE, Türkçesi: Avrupa Konumsal Veri Altyapısı), Avrupa Parlamentosuna üye ülkeler nezdinde Avrupa içerisinde çevre ile ilgili konumsal verilerin paylaşılması ve ortak bir konumsal veri altyapı sistemi oluşturma amacıyla başlatılan bir coğrafi bilgi sistemi platformudur. INSPIRE, Avrupa'daki konumsal verilerin üretilmesi ve paylaşılması amacıyla standartların belirlenerek Avrupa'da konumsal veri altyapısının oluşturulmasını hedefler. INSPIRE, AB için konumsal veriyi belirlenen standartlarda üretmek, geliştirmek ve kullanıcılara sunmak amacıyla gerekli standartları belirlemek, sanayi, turizm, tarım ve ulaşım gibi hizmetlerin geliştirilmesini amaçlamıştır (URL-1, 2024).

1999 yılında başlayan e-Avrupa ve devamında geliştirilen e-Avrupa plus projesine katılan Türkiye, e-Türkiye dönüşüm sürecini başlatmıştır. Muadil ülkelere göre büyük bir gelişim göstererek e-dönüşüm ve e-Devlet konusunda örnek ülkelerden biri olmuştur. Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi (TUCBS) çalışmaları e-Türkiye'ye entegre edilmiştir. TUCBS; Land Administration Domain Model (LADM, Türkçesi ve kısaltması: Arazi İdaresi Temel Modeli: AİTM) ve INSPIRE'a uygun bir şekilde Unified Modelling Language (UML Türkçesi ve kısaltması: Birleşik Modelleme Dili: BMD) kullanılarak geliştirilmiştir (Çoruhlu ve Çelik, 2022). TUCBS kapsamında 32 adet coğrafi tema bulunmaktadır. İnsanlar için vazgeçilmez bir unsur olan su, 32 adet temadan birisi olan Altyapı teması altında ele alınmaktadır (URL-2, 2024). Birçok kurum TUCBS çalışmalarını takip etmekte ve TUCBS projesinin yürüten Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü ile koordineli olarak çalışmaktadır. Su konusunda da Büyükşehir Belediyelerindeki Su ve Kanalizasyon İdareleri ile İl Özel İdareleri çalışmalara katılmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışmada aşağıdaki şekilde sunulan işlem adımları metodolojik olarak takip edilmiştir. Bu çalışma içme suyu altyapı sistemlerine odaklandığından, öncelikli olarak detaylı bir literatür araştırması ile mevcut durum analizinin gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Literatür verisi olarak başta bir önceki dönem olan 10.Kalkınma Planı ve güncel 11.Kalkınma Planı, Avrupa Birliği-Su

Direktifleri ve ulusal mevzuatlar, proje ve makale gibi bilimsel kaynaklardan yararlanılmıştır. Arazi ve büro çalışmalarından yakinen bilinen problem durumu, literatür çalışmalarından elde edilen çıkarsamalarla da desteklenerek çalışmanın problemi tanımlanmıştır. Problem tanımında ifade edilen sorunları bertaraf edecek bir şekilde çalışmanın amacı belirlenmiştir. Çalışmanın amacına hizmet edecek olan alt hedefler ise sırasıyla şu şekilde açıklanabilir. Öncelikli olarak coğrafi veri modelinin TUCBS'den uyarlanması, ardından UML diyagramları ile içme suyu bilgi sistemi için olası tüm senaryoların görselleştirilmesi sağlanmıştır. Çalışmada ortaya konulacak veri modeli alan taraması ve büro çalışmaları ile taslak şekilde oluşturulmuş ardından veri setlerine karar verilmiştir. Özel durum çalışması niteliğinde seçilen bölgelerde arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Modelde olması gereken veriler, farklı veri toplama araçlarıyla farklı kaynaklardan temin edilmiştir. Veri toplama araçları olarak 3 farklı yöntemle veriler sağlanmıştır. Daha önce oluşturulmuş mevcut klasik haritaların sayısallaştırılması, içme suyu tesisi imalat ve inşası devam eden hatlarda güncel arazi çalışmalarının yapılarak sayısal işletme (as-built) planlarının temini, işletme planı olmayan daha eski zamanlarda inşa edilmiş hatlar için saha çalışanları ile hatların ortofoto haritalara işlenmesi ..sağlanmıştır. Toplanan tüm veriler veri tabanına aktarılmıştır. Tüm süreç sonunda, içme suyu altyapısının tüm bileşenleri ile birlikte CBS veri tabanında konumsal-sözel veri analizine uygun formda analiz-sorgulama ve raporlama yapılabilmekte, diğer altyapı-üstyapı işleri için veri paylaşımı sağlanabilmektedir. Çalışmada Şekil 1'de sunulan işlem adımları metodolojik olarak takip edilmiştir.



Şekil 1. Metodoloji ve çalışma planı

Altyapı, ihmal edilmeyecek kadar önemli bir disiplindir ve üzerinde özenle durulması gereken önemli bir konudur (Lemanski ve Massey, 2022). Altyapının ihmal edilmesi sadece maddi kayıplar değil can kayıplarına da neden olabilmektedir (Karley, 2009). Tüm kayıpların minimuma indirilebilmesi için altyapı bilgi sistemlerinin kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Altyapı Bilgi Sistemleri CBS'nin alt uygulamalarından biri olup; doğalgaz, içme suyu, atık su, yağmursuyu, telekomünikasyon, elektrik vb. altyapı bilgileri ile bunlara ait üstyapı tesisleri arasındaki ilişkileri irdeleyen konumsal bilgi sistemidir (Aquino Ficarelli ve Ribeiro, 2021).

UML, bir programlama dili olmamakla birlikte yazılım geliştirme için kullanılan standart bir diyagram çizme ve ilişki modelleme dilidir. Yazılım sistemlerinin nasıl modellenebileceğini



belirleyen ve bunları açıklayan yöntemlerin bir araya gelmesiyle oluşur (Agardi, A., 2022). UML ile bir bilgi sistemi kurulmadan önce gerçekleştirilen tasarım sayesinde; beklenmedik mantıksal hatalar minimize edilebilir, tasarlanan modelin kodlama işlemi kolaylaşır, program geliştirme maliyeti düşer, bellek kullanımı daha etkin hale gelir, zaman tasarrufu sağlanır, disiplinler arası çalışmalarda iletişim daha etkili ve basit hale gelebilir (Eynard vd., 2004). INSPIRE ve AİTM de UML ile hazırlanmıştır. Bu anlamda arazi yönetimi alanında çalışan araştırmacılar UML dilini son zamanlarda sıkça kullanmaktadırlar. Türkiye’de UML görselleştirmeleri kullanılarak LADM’ye uygun şekilde çok farklı çalışma yürütülmüştür. Bunlar; kadastro ve tapu sicili uygulamaları (Polat ve Alkan 2018), alım-satım işlerinin nesne tabanlı veri modeli (Çoruhlu and Toludan, 2020), taşınmaz vergilendirme sistemi için nesne yönelimli cityGML tabanlı model (Çağdaş, 2013), arazi toplulaştırma için taşınmaz değerlendirme yaklaşımı (Tezcan et al., 2020), mezarlık alanı yer seçimi için coğrafi veri tabanı tasarımı (Çoruhlu et al., 2021), Türkiye için taşınmaz değerlendirme veri modeli tasarımı (Kara vd., 2021), korunan alanların coğrafi veri modeli geliştirilmesi (Çoruhlu ve Celik, 2022), arazi toplulaştırması için taşınmaz değerlemenin yasal ve sosyal yönleri (Ertunç vd., 2022), LADM tabanlı dünya ölçeğinde yürütülen diğer çalışmalar (Polat vd., 2022) olmak üzere çok sayıda çalışma yapılmıştır.

## 2.1 INSPIRE Bileşenleri

INSPIRE bileşenleri Kamu sektörü kuruluşları arasında çevresel coğrafi veri paylaşımına imkân vererek, kamunun coğrafi verilere Avrupa genelindeki erişimini kolaylaştırmakta ve sınır ötesi politika oluşturma çalışmalarına destek sağlamaktadır. INSPIRE’nin su ile alakalı teması olan Hidrografya teması göl, akarsu, havzalar ile bunlar ile alakalı tüm coğrafi nesnelere kapsar (URL-1, 2024). Uygulama alanları; Su temin edilmesi, Su taşımacılığı, Su kaynaklarının izlenmesi, Rekreasyon sahalarının yönetimi, Arazi kullanımı planlaması ve yönetimi, Biyoçeşitliliğin araştırılması, Tatlısu balıkçılığı, Atıksu arıtma, Kirliliğin izlenmesi, Tehlikeli atık depolama sahası tespiti, olarak sıralanabilir.

## 2.2. AİTM: ISO 19152 Çalışmaları

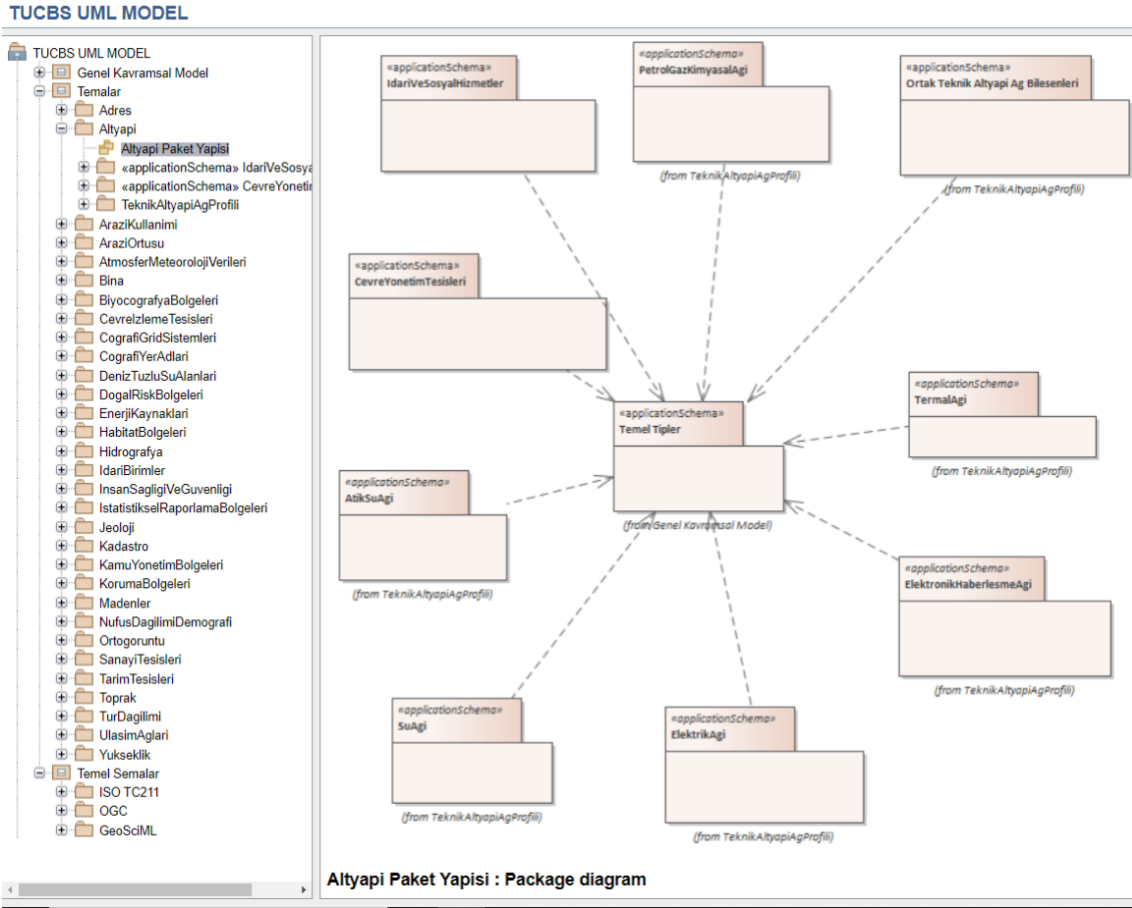
AİTM, ISO 19152 olarak belirlenmiş uluslararası bir standarttır (Lemmen vd., 2013) ve arazi idaresi gibi konularda veri modellemenin önemini anlaşılmasına büyük katkı sağladığı (Lemmen vd., 2015). AİTM, arazi idaresi için uygulama yazılımı geliştirmeyi destekleyebilir. Olması gerektiğinden yüksek olan veri fazlalıklarını ve mükerrerliği minimize etmeye yardımcı olabilir. Çeşitli ulusal ve uluslararası sistemlere dayanan ve uygulamada faydalı olması için mümkün olduğu kadar basit olan AİTM, arazi yönetimi için terminoloji sağlamaktadır (Kalogianni vd., 2021).

INSPIRE Direktifi, AB çevre politikaları veya çevre üzerinde etkisi olabilecek faaliyetler amacıyla bir Avrupa Birliği mekânsal veri altyapısı oluşturmayı amaçlamaktadır. 15 Mayıs 2007 tarihinde yürürlüğe giren Direktif, günümüzde geçerlidir (URL-1, 2024). Türkiye AB müzakere sürecinde olduğundan, Türkiye için tasarlanan e-devlet uygulamalarındaki konumsal ve öznitelik verileri hem uluslararası LADM standartlarına ve hem de INSPIRE direktiflerine uygun olmalıdır (Çoruhlu vd., 2015).

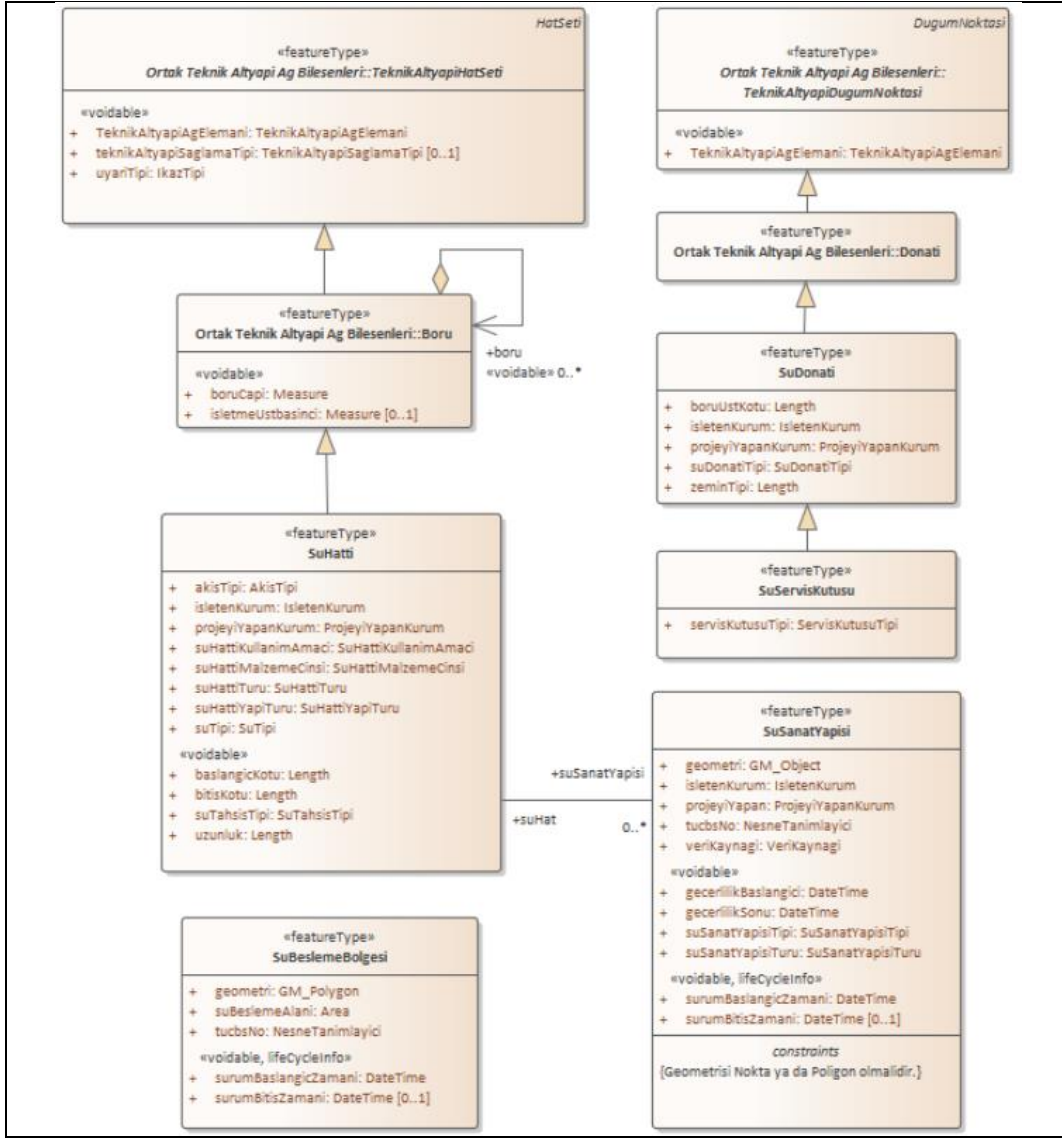
### 2.3. Türkiye Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemi

TUCBS, Ulusal düzeyde teknolojik gelişmelere ve INSPIRE Direktifine uygun CBS altyapısı kurulmasını, kullanıcılara bir web portalı oluşturulmasını, coğrafi verilerin tüm kullanıcı kurumların ihtiyaçlarını karşılayabilecek içerik standartlarının oluşturulmasını ve coğrafi veri değişim standartlarının belirlenmesini amaçlayan bir e-devlet projesidir (URL-3, 2024).

TUCBS altyapı teması; atık su, atık yönetimi, su ve elektrik tesisleri vb. kamu hizmetleri olan teknik altyapı ile sivil savunma, eğitim, sağlık, yönetim vb. idari ve sosyal kamu hizmetleri olan sosyal altyapıyı içermektedir. Ülke ölçeğinden kent ölçeğine kadar detayları olan bir çalışmayı içermekte olan TUCBS altyapı temasının paket yapısı Şekil 2’de sunulmuştur. Kapsamı detaylı ve geniş olan altyapı temasının içindeki teknik altyapı bölümü; su, atık su, elektrik, petrol/gaz/kimya, termal ve elektronik haberleşme olmak üzere 6 başlık halinde ele alınmıştır. Yapılan bu çalışmada detaylıca ele alınan su ağı da bu paketler arasındadır.



Şekil 2. TUCBS altyapı temasının paket diyagramı (URL-4, 2024)



Şekil 3. Su ağı tasarımı gösteren sınıf diyagramı (URL-4, 2024)

## 2.4. Su Yönetimi

Su, yaşam döngüsünün vazgeçilmez ve en temel öğelerinden birisidir. Yeryüzünün yaklaşık %75'inin sularla kaplı olmasına rağmen, içilebilir nitelikteki su oranı ancak %0,74 civarındadır. İçme suyu, canlılar tarafından tüketilmesi güvenli olan ve kullanıldığında sağlık sorunlarına sebep olmayacak sulardır. Su canlılar için bu kadar önemli bir kaynak olmasına karşın tükenme tehlikesiyle karşı karşıyadır. Çeşitli sebeplerle suyun tükenen bir kaynak haline gelmesi, suyun yönetimini oldukça önemli kılmaktadır (Günhan, 2014).

Dünyada suyun eşit ve adaletli olarak paylaşılması ve kullanılması ile su güvenliğinin sağlanması amacıyla global, bölgesel ve ulusal ölçekte etkin olan birçok kurum ve kuruluş bulunmaktadır. Su yönetimi konusunda Birleşmiş Milletler (BM) birçok programı ve kurumu ile

beraber etkin rol üstlenmiştir. Bu kurumların en önemlilerinden birisi Birleşmiş Milletler-Su Kurumu'dur. Kurumun, su kaynaklarının entegre yönetimi ile içme suyunun temiz bir şekilde sağlanması, su kalitesi, suyun fiyatlandırılması, iklim değişikliği gibi hedefleri bulunmaktadır (URL-5, 2024)

Su meseleleri konusunda küresel toplumda artan endişeye bir yanıt olarak önde gelen su uzmanları ve uluslararası kuruluşların girişimiyle 1996 yılında Fransa'nın Marsilya şehrinde kurulan Dünya Su Konseyi, çok paydaşlı uluslararası bir platformdur. (URL-6, 2024)

Dünyanın en geniş ve en köklü ağlarından birisi olan IUCN (Dünya Doğa ve Doğal Kaynakları Koruma Birliği); su kaynaklarının korunmasını amaçlayarak; BM'yi, hükümetleri, akademiye, özel sektörü sivil toplumu bir araya getirerek çözümler üretmek için çalışır. Suyun sürdürülebilir kullanılması, adil ve eşit olarak paylaşılması ve ekosistemlerin korunması hedefleri için de çalışır (URL-5, 2024).

AB suyun maddi kazanç odaklı bir ürün olarak değil korunması gereken bir miras olarak kabul etmektedir. AB mevzuatlarında suyun yönetimi ile ilgili önemli direktiflerden birisi Su Çerçeve Direktifi'dir (Güneş, 2010).

Türk Ulusal Mevzuatı:

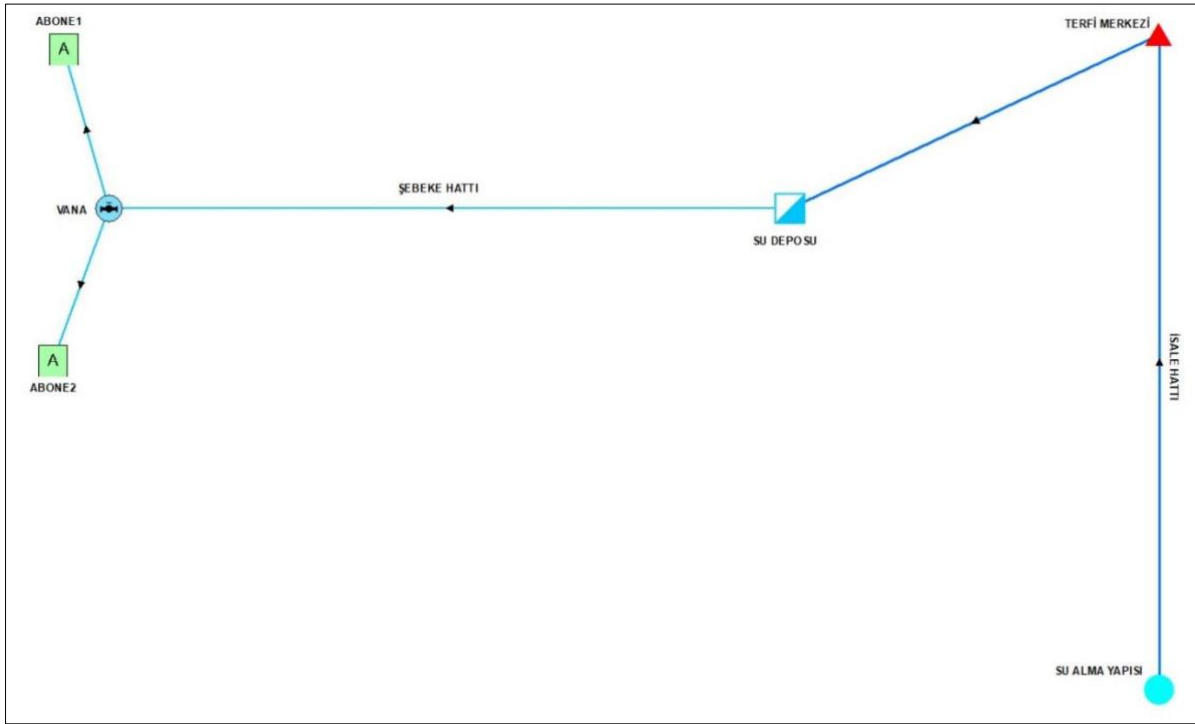
- 28/4/1926 Tarihli ve 831 Sayılı Sular Hakkında Kanun:
- 3/7/1968 Tarihli ve 1053 Sayılı Belediye Teşkilâtı Olan Yerleşim Yerlerine İçme, Kullanma ve Endüstri Suyu Temini Hakkında Kanun
- 20/11/1981 Tarihli ve 2560 Sayılı İSKİ Genel Müdürlüğü Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun
- 10/7/2004 Tarihli ve 5216 Sayılı Büyükşehir Belediyesi Kanunu
- 13/7/2005 Tarihli ve 5393 Sayılı Belediye Kanunu

Dünyada birçok devlette ve Türkiye'de suyun idari yönetimini gerçekleştirmek için sorumlu kurumlar vardır. Ülkemizde suyun yönetimini rolünü üstlenen önemli kurumlar olup bu kurumların önemli görevleri vardır. Bunlardan birisi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ)'dir. (URL-7, 2024). Bir diğer önemli kurum Su Yönetimi Genel Müdürlüğü olup, temel görevlerinden bazıları: su kaynaklarının korunmasına ve sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına dair politikalar oluşturmak, havza bazında üst planlamaları yaparak bütünleşik havza yönetimini sağlamak, ulusal ve uluslararası su yönetimini koordine etmektir. Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün görev ve yetkilerinden birisi ise Ulusal su veri tabanı oluşturmaktır (URL-8, 2024). DSİ ve Su Yönetimi Genel Müdürlüğü dışında ülkemizde su ile ilgili hizmet veren bir başka kurum, belediyelerdir. Belediyelerin su ile ilgili görevleri şu şekilde sıralanabilir; su dağıtımını yapmak, kanalizasyon hizmetlerini yerine getirmek,

arıtma tesisi yapmak ve işletmek, su deşarjlarının yapmak ve denetlemektir. Büyükşehir belediyelerinin olmadığı yerlerde il özel idareleri bulunmaktadır. İl özel idareleri, belediye sınırları dışındaki yerleşim yerlerine su ve kanalizasyon hizmetleri sağlar.

Dünyadaki hemen hemen bütün ülkeler, kendi topraklarında su sorunu olsun olmasın yeni su kaynakları arayışı içindedir. Her ülkenin su konusunda zengin olduğu yanlılgılı bir düşüncedir. Su kaynakları planlı, sağlıklı ve sürdürülebilir olarak kullanılmalıdır. Su kaynakları genellikle şehir merkezlerine uzak yerlerde bulunmaktadır.

İçme suyunun temin edilmesinde ve iletiminde belirli sistem elemanları yer almaktadır. Bunlar; su alma yapıları, isale hatları, şebeke hatları, abone bağlantıları, terfi istasyonları, tahliye tesisleri, sistem vanaları, maslak, su depoları olarak sıralanabilir. Şekil 4 içme suyu sisteminin kavramsal gösterimi için hazırlanmıştır.



Şekil 4. İçme suyu iletim sisteminin kavramsal gösterimi

- Su Alma Yapıları veya Su Alma Tesisleri: Bir bölgenin su ihtiyacının karşılanması için kullanılan tesislerdir.
- İsale hattı: Suyun kaynağından depoya ya da şebeke ağına ulaştırılmasını sağlayan boru hattıdır.
- Maslak: Su hat güzergâhları üzerinde bulunan, içinde toplanan suyun çeşitli borularla farklı yönere dağıtılabildiği küçük yapılardır.

- Terfi (Pompa) Merkezleri: Suyun; kaynağından elde edildiği noktadan, kullanıcı bağlantısı yapılacak nihai noktaya cazibeli bir şekilde iletilememesi durumunda, iletilecek suya enerji kazandırmak amacıyla kullanılan elemanlardır.
- Depolar: Suyun iletiminde sürekliliğin sağlanması amacıyla toplandığı ve stoklandığı yapılardır.
- Şebeke hatları: İhtiyaç duyulan bölgedeki abonelere suyun ulaştırılmasını sağlayan, farklı çaplardaki borulardan oluşan bir ağ sistemidir.
- Vana: İçme suyu altyapı sistemindeki suyu yönlendirebilmek, su miktarını kontrol altında tutabilmek, bakım ve onarım işlemleri sırasında suyun bölgesel olarak kesilmesini sağlayarak sistem bütünlüğünü korumak için kullanılan elemanlardır.

## 2.5. İçme Suyu Arızaları

Her altyapı sisteminde olduğu gibi içme suyu kullanıcılarına servis edilirken bazı aksaklıklar meydana gelebilir. Kullanılan malzemenin ekonomik ömrünü tamamlayarak eskimesi veya çevresel şartlardan dolayı arızalanarak onarım ve yenilenme ihtiyacı ortaya çıkabilir. Su ağına kurulacak çeşitli sensörler ile su akışı takip edilebilir, su arızalarının tespitinde bu sensörlerden de faydalanılabilir. İçme suyu altyapısının işletilirken ki önemli aksaklıklarından birisi su borularının patlaması ve su kesintisinin yaşanmasıdır. Arızalanan borular ilgili kurum personeli tarafından tamir edilir (Ayadi vd., 2019). Arıza durumlarında su kaybı dışında yeniden onarım maliyeti, bölge halkının suyunun kesilmesi, kamu güveninin zedelenmesi ortaya çıkabilir. Bir arızanın toplam maliyeti, onarım süresi ile doğru orantılı olarak düşünülmelidir. Bu nedenle arızaların hızlı tespiti bir içme suyu altyapı yönetiminin önemli bir parçasıdır (Sadeghioon vd., 2018).

## 2.6. İçme Suyu Bilgi Sistemlerinde Veri Toplama Araçları

Klasik veri tabanlarında olduğu gibi CBS veri tabanını oluştururken de ilk aşamada gereksinim analizi gerçekleştirilmelidir. CBS veri tabanının oluşturulma amacına yönelik kullanılacak veri türlerinin ve uygulamaların karar verileceği başlangıç kısmı olarak da açıklanabilir. TİSKİ tarafından 2015-2019 dönemi için hazırlanan ve kurumsal web sayfasında sunulan Stratejik Plan'da kurumun kendini yetersiz olarak değerlendirdiği yönleri ve ihtiyaçlarından çalışma ile ilişkili olanlar; coğrafi bilgi sisteminin olmayışı, mevcut içme suyu isale hattı ve şebeke bilgilerinin sayısal ortamda olmaması, şeklinde özetlenebilir (TİSKİ, 2015). Benzer şekilde plan çalışmalarında hedeflenen dış paydaş kitlesi de CBS altyapısının oluşturulması beklentisini ifade etmişlerdir. Kurum zayıf yanı olarak; mevcut içme suyu isale hattı ve şebeke planlarının sayısal ortamda olmamasına, içme suyu ile ilgili altyapı döküm çalışmaları ve harita çalışmalarının yetersiz olmasına, CBS'nin olmayışına dikkat





## 2.6.2 Mevcut Haritaların Sayısallaştırılması

Veri tabanı oluşturma için sayısal işletme planı bulunmayan imalatların kâğıt paftalarının elde edilmesi gerekir. Yapılan çalışmada mevcut işletme planı paftaları taratıldı ve sayısallaştırma ile tüm nesnelere ayrı katmanlara aktarılacak şekilde vektör veriye dönüştürüldü.



Şekil 6. Trabzon ili Akçaabat ilçesindeki içme suyu hattı kâğıt pafta örneği

### 2.6.3 Saha Çalışanları ile Hatların Ortofoto Haritalara İşlenmesi

Bu yöntem, altyapısına ait bir işletme planı veya paftası bulunmayan bir bölgede kullanılan yaygın bir yöntemdir. Çoğu altyapı kurumunda seneler önce imalatı yapılan hatların nerden geçtiğini bilen, önceki kurum çalışanlarından öğrenen kurum çalışanları ile belirlenmiştir. Herhangi bir haritası olmayan bazı içme suyu altyapı tesislerinin, bazı kurum çalışanlarının bilgisi ile haritalanabileceği anlaşılmıştır. Saha çalışmasında bu tip haritası olmayan alt yapı elemanlarından zeminde bulunanlar (vana, maslak, depo vb.) kurum çalışanlarınca tespit edilmiştir. Tespit edilen bu elemanlar 3D olarak ölçülmüştür, bu elemanların hatlar ile olan ilişkisi ise ortofoto haritalar yardımı ile çıkartılmıştır.

### 2.6.4 Arıza Verisi Toplama

İçme suyu altyapı yönetiminde arıza tespiti büyük önem taşımaktadır. Arıza durumunda ilk olarak arızanın tespit edilmesi ve mümkün olan en kısa sürede sonlandırılması hedeflenir. Böylece abonelere bir an önce temiz su sağlanabilir. Arıza noktalarının belirlenmesi ve bilgi sistemine aktarılması hedeflediğinden, kullanıcılar tarafından bildiri yapılan arıza durumları aynı zamanda veri toplama aracı olarak büyük fırsatlar sunabilir. Eş bir anlatımla yıllar önce imalatı yapılmış, ancak kesin koordinatları bilinmeyen ve bilgi sisteminde de yer almayan hatların ve hat elemanlarının belirlenmesi adına önemli imkânlar sunabilir. Saha çalışmasında arıza tespiti yapılan içme suyu elemanlarının konumu alınmış ve CBS veri tabanına aktarılmıştır. Altyapı elemanlarının öznitelik verileri olan ve konum bilgisi dışındaki, elemanın cins, çap vb. bilgileri de kaydedilmiştir. Arıza noktalarının hatların güzergâhı hakkında sağladığı katkı dışında arızaların düzenli takipleri bilgi sistemi sayesinde yapılabilmektedir. Dijital ortamda toplanan ve CBS üzerinden takip edilen arıza noktaları sayesinde içme suyu altyapısının yönetiminde kolaylıklar sağlanabilir. Sık arızalanan borular tespit edilip o bölgeye farklı bir yatırımın yapılması gerekliliği de saptanabilir. Şekil 7’de mobil cihaz ile konum alımı gösterilmiştir.



Şekil 7. Arıza sırasında mobil cihaz ile konum alımı

### 3. Çalışma Alanı

Çalışma genel olarak Trabzon Büyükşehir Belediyesi Trabzon İçme Suyu Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (TISKİ) sorumluluk alanı içinde yürütülse de, pilot uygulama bölgesi Ortahisar İlçesindeki Pelitli Mahallesi olarak seçilmiştir. Trabzon genelinde 1800 km isale hattı ve 3500 km şebeke hattı olmak üzere yaklaşık toplam 5300 km su hattının sayısal verileri elde edilmiştir. Hatlar ile ilişkili olan yaklaşık olarak 2000 tane su deposuna ait konumsal veri temin edilmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen Trabzon'da yaklaşık 810bin kişi yaşamaktadır ve 400bini aşkın su aboneliği olduğu bilinmektedir. Altyapı verileri dışında çalışma bölgesine ait mahalle sınırı, yol (cadde/sokak) verisi ile abone-yapı verileri de temin edilmiştir. Ayrıca su elemanlarında meydana gelen arızalar ait arıza verileri de kullanılmıştır. Coğrafi veriler üç farklı veri toplama aracı ile ayrı ayrı edinilmiştir.



Şekil 8. Trabzon ili ve çalışma bölgesine ait yer buldur haritası

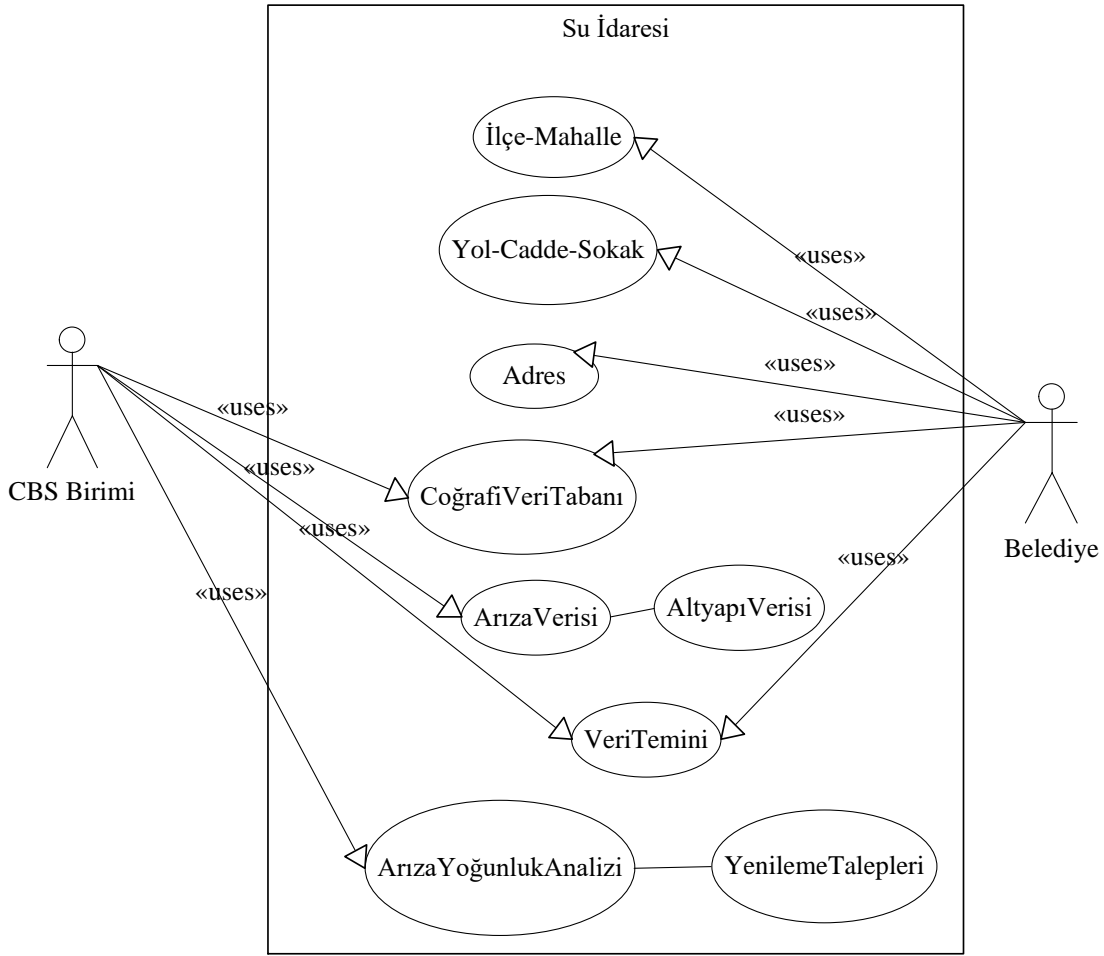
### 3.1. İçme Suyu Altyapısı için Nesne Yönelimli Coğrafi Veri Tabanının UML Diyagramlarıyla Oluşturulması

#### 3.1.1 UML Kullanım Senaryosu (Use-Case) Diyagramı

Use-case diyagramları, sistemin nasıl çalıştığını, neler yaptığını başka bir gözlemcinin bakış açısıyla anlatan diyagramlardır. Use-case ile sağlanan temel yararlar; sistemi belirleyen niteliklerin tespit edilmesi, yazılımı geliştirenlerin, yazılımın kullanıcı tarafı ile ilgili kısımlarının daha iyi tanımlanması, yazılımın test edilmesine yönelik örneklerin oluşturulması olarak sıralanabilir.

Yapılan çalışma için kullanım senaryosu oluşturulmuş olup Şekil 8’de sunulmuştur. Bu süreçlerdeki veriler ve ilgililer de modellenmiştir. Oluşturulan bu diyagramda Trabzon İçme Suyu Coğrafi Bilgi Sistemi (TISCBS) için ilçe-mahalle, yol-cadde-sokak, adres verileri yanında altyapı ve arıza verileri de bulunmaktadır. Bilgi sisteminin kurulması sonrası alınacak olan arıza konum bilgisi de sistemin içinde bir veri seti olarak yerini almıştır. Zamanla gelen arazi, şikayet ve bakım-onarım

çalışmalarındaki arıza durumları konumsal verileriyle birlikte bilgi sisteminde depolanabilir. Arıza yoğunluk analizi yapılarak gerekli bölgelerde içme suyu altyapısının yenilenmesi talep edilebilir.



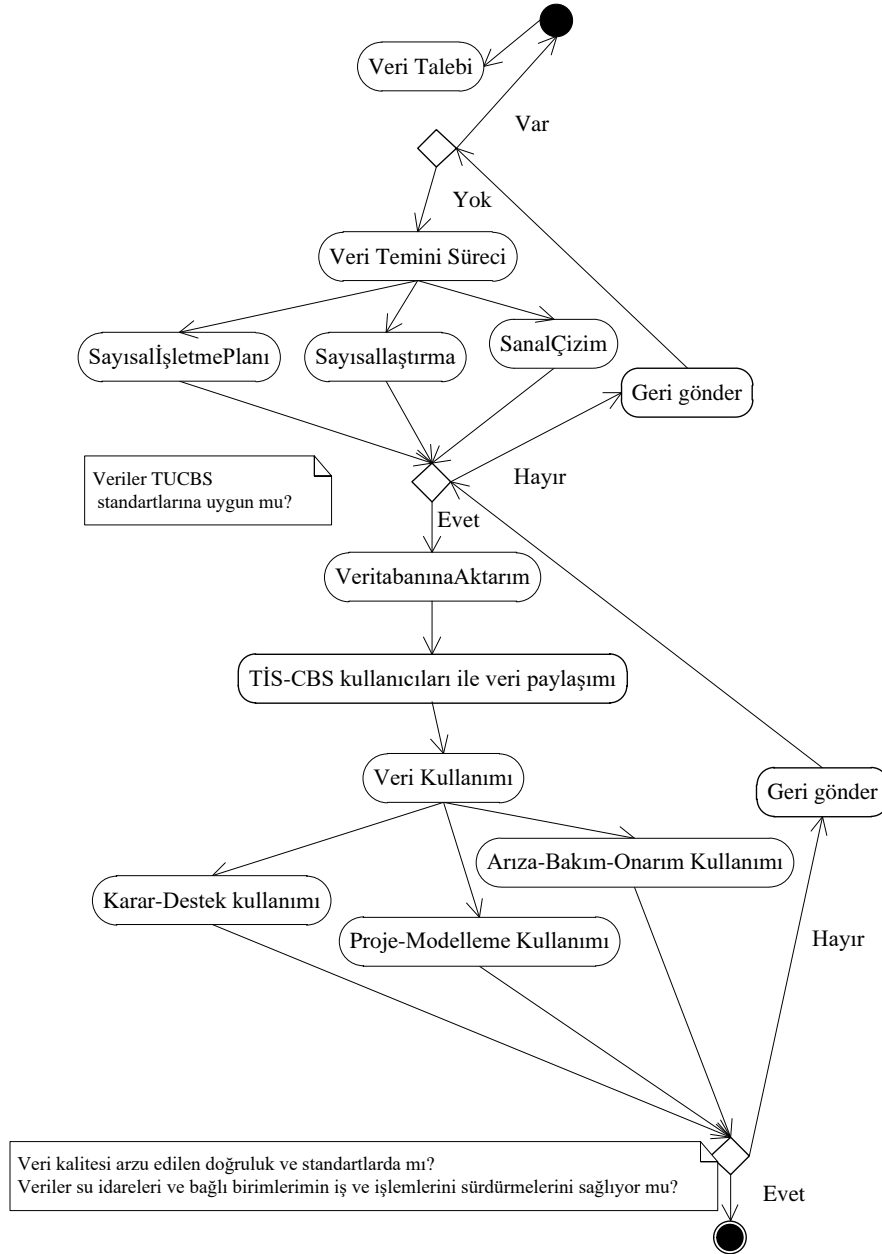
Şekil 9. UML use-case diyagramı ile içme suyu bilgi sisteminin görselleştirilmesi (Altaş, 2022)

Yapılan çalışmada kullanılan UML use-case diyagramı; iş süreçlerinin yönetilmesi aşamasında ihtiyaç duyulan tüm fonksiyonları, fonksiyonları gerçekleştirecek aktörleri, fonksiyonlar arasındaki ilişkileri göstermek amacıyla kullanılmıştır. Su idaresi Use Case diyagramı ile sistemin işlemleri ortaya konulmuştur. Böylece modellemenin ilk aşaması bu diyagram ile tamamlanmıştır. Belediye ve CBS birim aktörlerinin sistem içinde yapabileceği işlemlerin neler olduğu sade bir şekilde gösterilmiştir. Operasyonlar olarak adlandırılan işlemlerde CBS kurulumu ve işletilmesi Belediye ve CBS Birimi koordinasyonu ile sağlanmaktadır. Arıza verileri ve arıza yoğunluk analizi ise CBS Birimi tarafından işletilmektedir. Altyapı operasyonu arıza verisi operasyonuna, yenileme talepleri operasyonu ise arıza yoğunluk analizi operasyonuna bağlıdır. Eş bir anlatımla önce bağımlı olunan operasyonlar yapılmalı ki diğer operasyonlar gerçekleştirilebilsin.



### 3.1.2 UML Etkinlik (Activity) Diyagramı

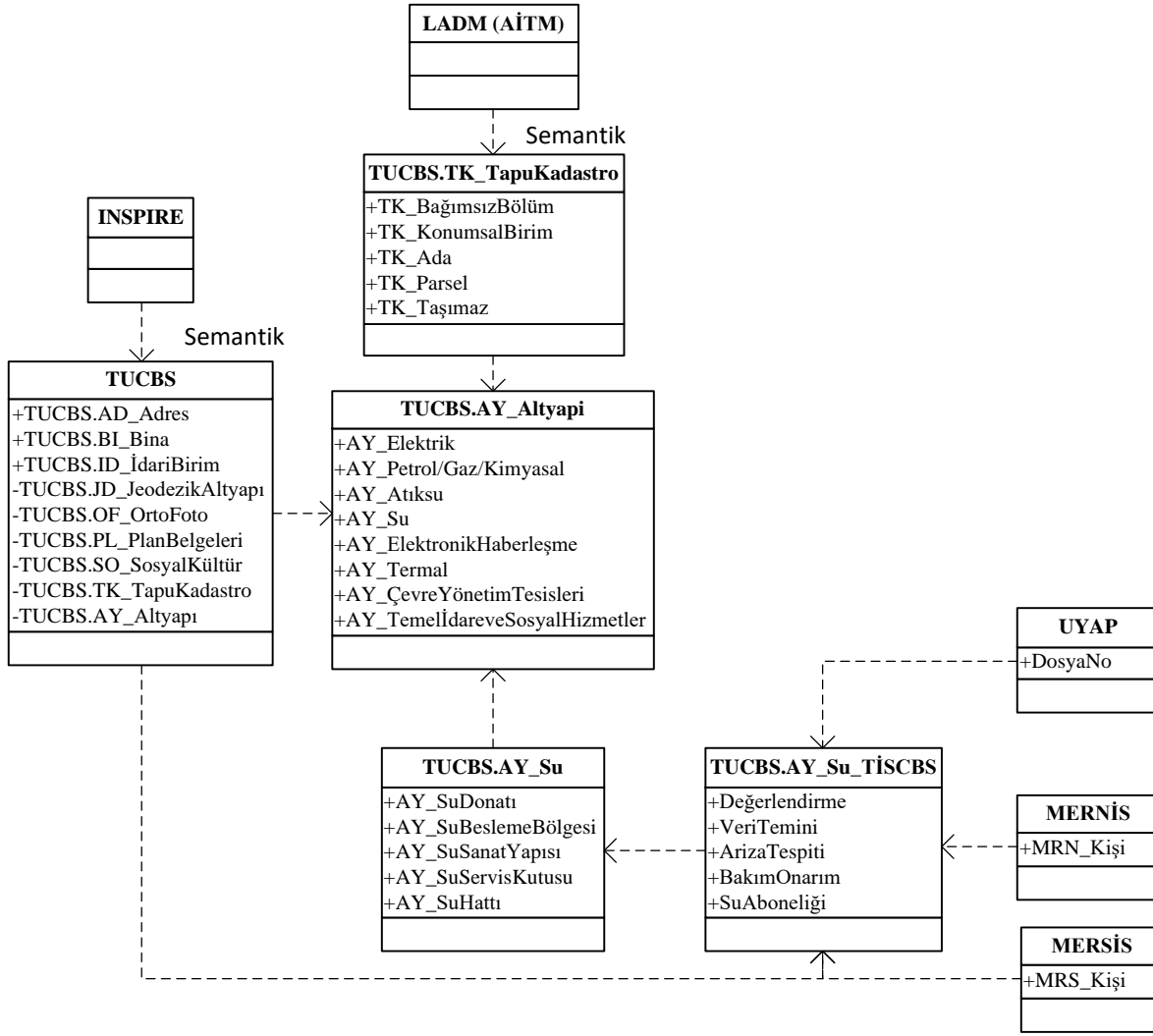
UML diyagram çeşitlerinden birisi olan etkinlik diyagramı, aktivitelerin süreçteki dizilişini anlatmak için kullanılmıştır (Egenhofer ve Frank, 1992). Bu çalışma için görselleştirilen UML aktivite diyagramı Şekil 9'da sunulmuştur. Bu diyagram üzerinden içme suyu altyapısı için bir CBS ele alındığında, veri talebi sonucu talep edilen veri var ise işlem kısa sürede sonuçlanmaktadır. Talep edilen veri yok ise birtakım işlem adımları ile karşılaşılır. Talep edilen verinin temini sürecine geçilir. Veriler sayısal işletme planı, sayısallaştırma veya sanal çizim metotlarıyla elde edilir. Verilerin belirlenen standartlara uygun olup olmadığı değerlendirilir. Eğer temin edilen veriler, standartlara uygun değilse geri gönderilir. Standartlara uygun olduğu belirlenen veriler, veri tabanına aktarılır. Daha sonra, kullanıcılar ile paylaşılır. Veri tabanındaki veriler üç temel amaçla; karar-destek, proje-modelleme ve arıza-bakım-onarım kullanılabilir.



Şekil 10. UML activity diyagramı ile içme suyu bilgi sisteminin görselleştirilmesi (Altaş, 2022)

### 3.1.3 UML Paket Diyagramı

Tasarımı yapılan TİSCBS modelinde hangi veri setlerinin olduğu ve bunların gösterimi önemli olup paket diyagramı kullanılarak Şekil 10’da verilmiştir. Veri setlerinin ISO ve INSPIRE standartları ile TUCBS veri temalarıyla bütünleşik bir yapıda geliştirilmesi önemli bir durumdur (Polat et al., 2017). Özellikle “TUCBS.AY\_Alt yapı” veri temasına dayalı olarak TİSCBS tasarlanmıştır. AİTM, INSPIRE ve ISO standartları ile TUCBS veri temalarıyla bütünleşik bir yapıda “TUCBS.AY\_Su\_TISCBS” Modeli veri setleri aşağıda verilmiştir.



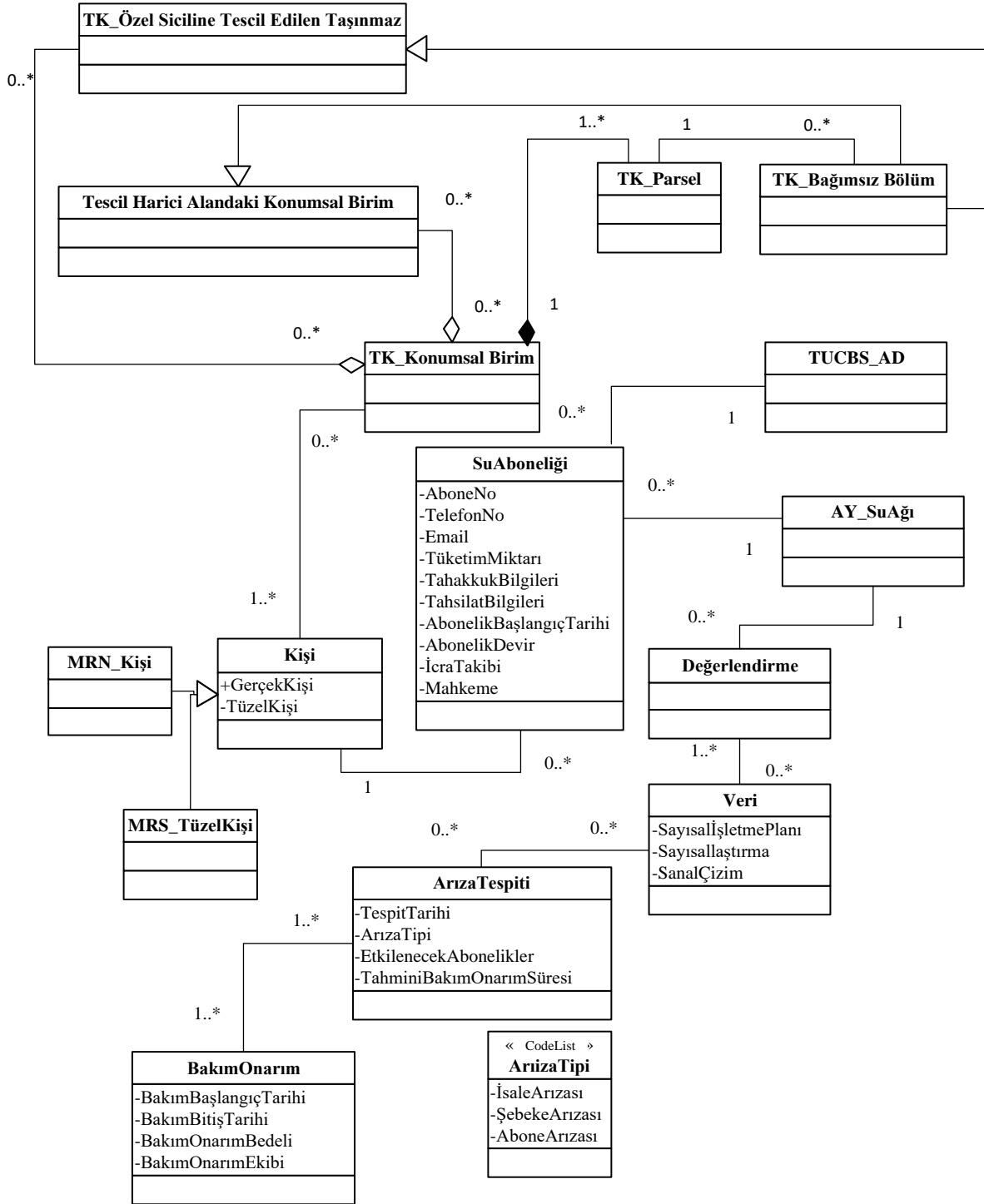
Şekil 11. “TUCBS.AY\_Su\_TISCBS” Modeli veri setleri

### 3.1.4 UML Sınıf (Class) Diyagramı

UML sınıf (class) diyagramı bir sistem içerisindeki nesne tiplerini ve nesnelere birbirleriyle olan ilişkilerini tanımlamak için kullanılmıştır. Sistemde tasarlanan sınıflarda; TK\_ ön eki TKGM tarafından üretilen verilerin tasarlanan sistemle olan ilişkisini, bir diğer ön ek olan AY\_ ön ekinin bulunduğu sınıf ise altyapı verilerine ilişkin bir sınıfı temsil etmektedir. TUCBS\_AD sınıfı, adres teması olup mülkiyete konu olan bir toprak parçası veya binanın coğrafi konumu ve işlevi açısından tanımlanmıştır. MRN\_ ön eki Nüfus ve Vatandaşlık İşleri Genel Müdürlüğü'nün MERNİS projesi ile MERSİS\_ öneki Gümrük ve Ticaret Bakanlığı Merkezi kayıt Sistemi olan MERSİS'den elde edilen verileri gösteren sınıflardır (Çoruhlu et al., 2015). TUCBS.AY\_Su ise Altyapı teması altındaki su alt temasına ait sınıfı göstermektedir. Bu sınıflar dışındaki sınıflar ise; TISCBS tarafından üretilecek verilere ilişkin sınıflardır. Tüm bu sınıfların birbirleriyle olan ilişkileri, ilişki türünün



özelliği aşağıdaki diyagramda gösterilmiştir. Bu gösterimde çokluk ifadeleri (0..1, \*, 0 gibi) ile sınıfların birbiri ile olan ilişkilerindeki bulunma durumları Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 12. UML class diyagramı ile içme suyu bilgi sisteminin görselleştirilmesi

TUCBS Kadastro teması ve Adres teması içindeki sınıflar ve Altyapı teması altındaki sınıflar birlikte ele alınmıştır. Zira içme suyu bilgi sistemleri; adres, tapu ve kadastro verileri de dikkate alınarak bir coğrafi bilgi sistemi içinde yönetilmelidir. Arazi yönetiminin temel bileşeni olan arazi

nesnesi (land object) ile TUCBS Altyapı veri teması altındaki su ağı birlikte ele alınmıştır. SuAboneliği sınıfı sudan faydalanan kişilerin ilgili Kurum ile olan bağlantısını içeren sınıfı, Değerlendirme sınıfı veri talebini içeren sınıfı, VeriTemini sınıfı verinin sayısal işletme planı, sayısallaştırma, sanal çizim yöntemleriyle üretimini içeren sınıf olarak tanımlanmıştır. ArızaTespiti sınıfı meydana gelen su arızası ile ilgili bilgileri içeren sınıfı, BakımOnarım sınıfı ise içme suyu arızasının bakım-onarım sürecinde ortaya çıkan bilgi ve eylemleri içeren sınıfı tanımlar. ArızaTipi sınıfı, ortaya çıkan arızanın ne tür arıza olduğunu içeren sınıf olup kod listesi profili aracılığı ile tanımlanmıştır (İnan ve Yomralıoğlu, 2011).

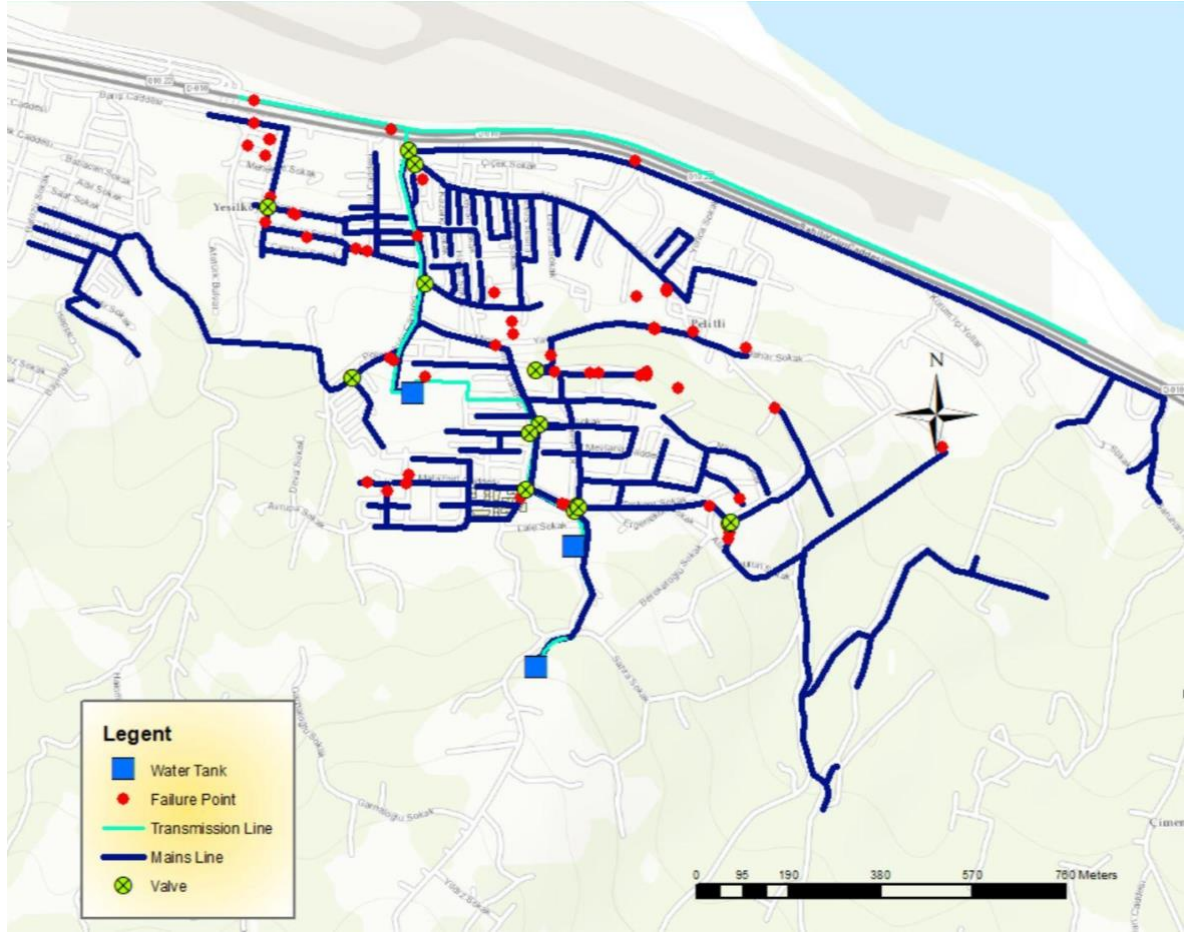
Sınıflar arasındaki ilişkilere örnekler verilebilir. Örneğin; Kişi ile Su Aboneliği sınıfları ve arasındaki ilişkinin sayılarla ifade edilmesi, çokluk (multiplicity) olarak anılır ve bir kişi varsa bir su aboneliği olmayabilir veya birden fazla su aboneliği de olabilir aynı zamanda bir su aboneliği varsa mutlaka bir kişi olmak zorundadır.

### 3.2 Altyapı Bilgi Sisteminin Oluşturulması

Bu çalışmada ele alınan problem durumunun çözümüne ilişkin TUCBS ile uyumlu olarak geliştirilen coğrafi bilgi sisteminin uygulaması Trabzon Büyükşehir Belediyesi genelinde yapılmıştır. Abone verilerinin analizi çalışmaları ise Trabzon Pelitli Mahallesi de gerçekleştirilmiştir. Modelde olduğu gibi uygulamada da TUCBS Kadastro teması ve Adres teması içindeki sınıflar ile Altyapı teması altındaki sınıflar birlikte ele alınmıştır. Uygulama bölgesine ait yer buldur haritası Şekil 12’de sunulmuştur. Uygulama öncesinde geliştirilen veri modeli yardımı ile bir veri tabanı tasarımı yapılmıştır. Ardından, mevcut ve edinilebilecek veriler dikkate alınarak, geliştirilen veri tabanının uygulaması tamamlanmıştır.

Temin edilen coğrafi veriler yanında veri tabanı tasarımında olması arzu edilen sözel veriler de edinilmiştir. Coğrafi verilerin ve sözel verilerin bir CBS yazılımı aracılığıyla veri tabanına aktarımı ile tüm veriler akıllandırılarak konumsal ve sözel sorgulama yapılabilir bir formda bilgi sisteminde depolanmıştır. Böylece, içme suyu hatları, depoları, sokak/cadde verileri, yapı verileri ile arıza verileri sorgulanabilmekte ve rapor haline getirilebilmektedir. Yapılan çalışma ile arıza verilerinin konumsal ve zamansal yoğunluk haritaları da hazırlanabilmektedir.

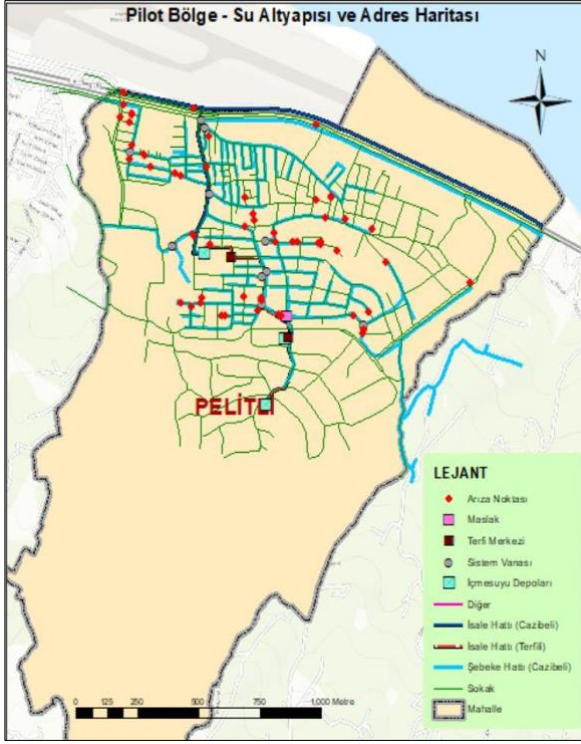
Coğrafi verilere ait sözel veriler de veri tabanına aktarıldıktan sonra, konumsal analiz ve sorgulamaya uygun hale getirilen CBS veri tabanı oluşturulmuştur. Hatların türü, çapı, cinsi, basıncı, veri kaynağı, imalat tarihi, hangi depodan beslendiği, hangi mahallede yer aldığı gibi bilgiler tablo olarak eklenmiştir. Coğrafi veriler, Şekil 13 ile sunulmuştur.



Şekil 13. Dijital hale getirilen içme suyu coğrafi veri tabanı

Uygulamada, arıza ekipleri arıza noktalarının konumsal verilerini içme suyu altyapı verilerinin bulunduğu coğrafi veri tabanına CBS yazılımı aracılığı ile aktarmaktadır. Benzer şekilde, bu çalışmada da arıza verileri CBS veri tabanına aktarılmıştır. Böylece, bakım-onarım ekiplerinin arıza tespiti ve onarımı için gittiği konum bilgileri ve ilgili konumlarla ilişkili sokaklar ortaya çıkartılmıştır. Arızaların konum verisi dışında, arıza hattının çap ve cins bilgisi ile arıza tarih bilgisi de uygulamaya aktarılmıştır. Bu haliyle GIS uygulamasının görseli konumsal veriler için Şekil 12 ve ilgili konumsal veriye ait sözel veriler için ise Şekil 13 ile gösterilmiştir. Bu yaklaşım sayesinde, kullanılan coğrafi bilgi sistemi sadece verilerin akıllandırıldığı bir yapıdan ziyade arızaların ve olası yenileme/bakım

çalışmalarının da öncelik sırasının ne şekilde yapılacağına ilişkin ipuçlarını sunabilecek bir yapıya dönüştürülebilir.

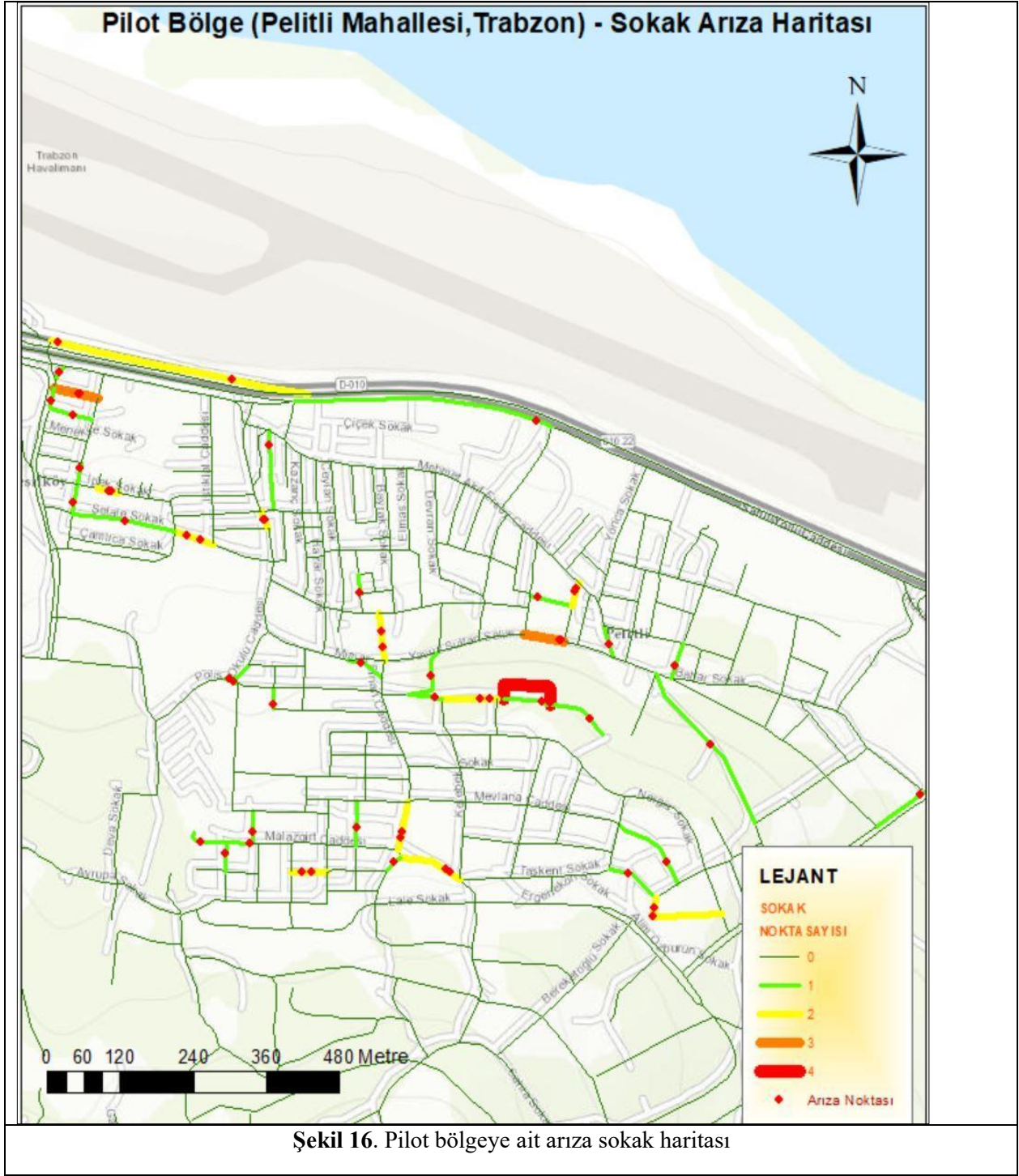


Şekil 14. Arıza ve altyapı coğrafi verileri

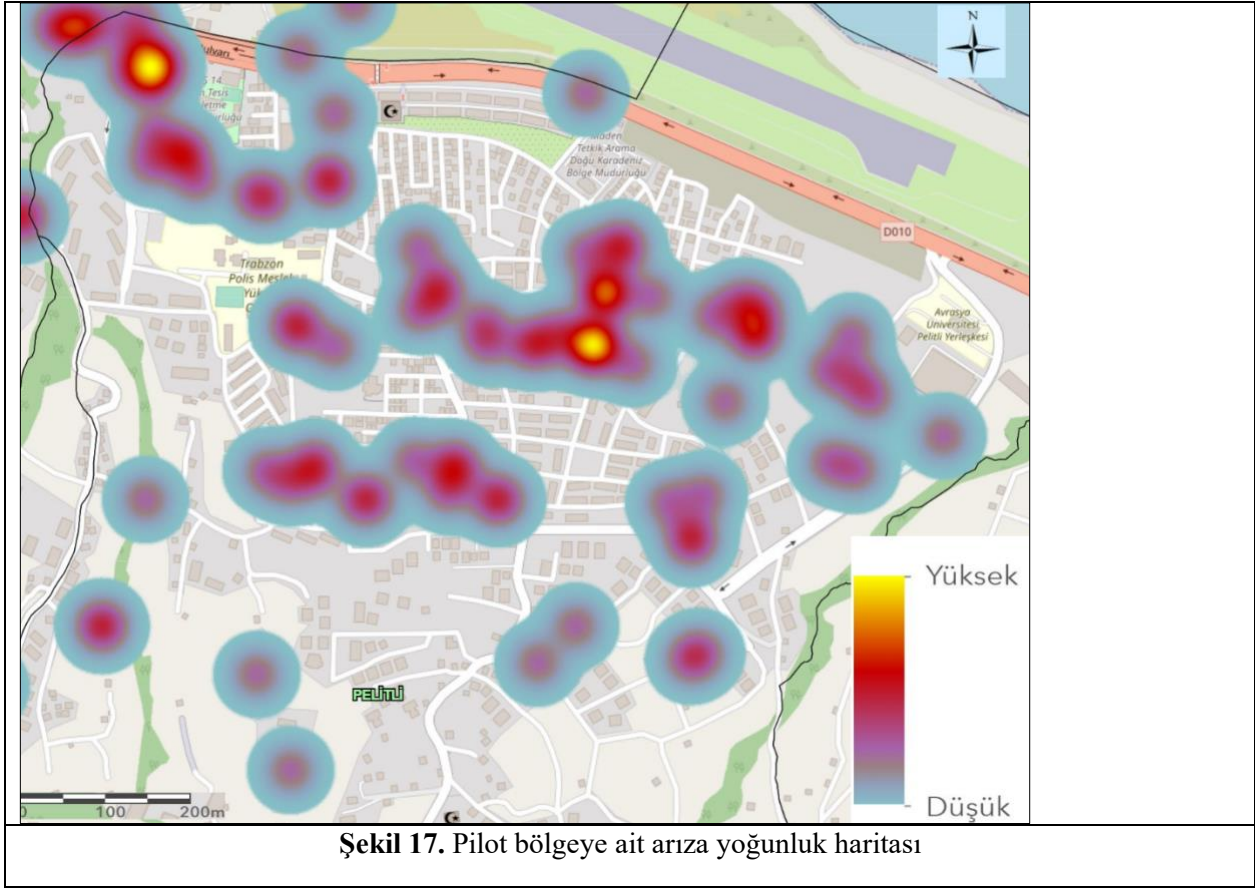
OBJECTID	ISEMIR_TAR	BORU_CAPI	BORUN_CINSI	XX	YY	SHAPE
64526	12/31/2021	63	PVC Boru	39.78827	40.99172	Point
66771	11/2/2022	63	PVC Boru	39.78786	40.9917	Point
67188	12/31/2021	63	PVC Boru	39.78827	40.99172	Point
62899	1/4/2022	25	Poietlen Boru	39.79618	40.98709	Point
63560	12/31/2021	32	Poietlen Boru	39.79548	40.98513	Point
63625	12/28/2021	32	Poietlen Boru	39.79763	40.98807	Point
64073	12/25/2021	25	Poietlen Boru	39.79419	40.9884	Point
64212	12/28/2021	63	Poietlen Boru	39.79741	40.98743	Point
64543	1/1/2022	32	Poietlen Boru	39.78827	40.99184	Point
64584	12/30/2021	25	Poietlen Boru	39.79674	40.98755	Point
64718	12/30/2021	32	Poietlen Boru	39.7963	40.98742	Point
65803	12/28/2021	63	Poietlen Boru	39.7974	40.98744	Point
66814	12/28/2021	63	Poietlen Boru	39.79726	40.98729	Point
67361	12/27/2021	32	Poietlen Boru	39.79523	40.98751	Point
67387	12/27/2021	32	Poietlen Boru	39.79609	40.98744	Point
67507	1/10/2022	63	Poietlen Boru	39.7972	40.99126	Point
67849	12/28/2021	32	Poietlen Boru	39.79763	40.98807	Point
67862	12/28/2021	63	Poietlen Boru	39.79742	40.98746	Point
67864	12/28/2021	32	Poietlen Boru	39.79763	40.98807	Point
62742	12/31/2021	100	Diğer	39.79116	40.98794	Point
62768	12/30/2021	100	Diğer	39.7997	40.98507	Point
62826	12/28/2021	100	Diğer	39.79794	40.989	Point
63348	1/8/2022	100	Diğer	39.79092	40.98528	Point
63620	12/28/2021	100	Diğer	39.79157	40.98542	Point
63747	12/30/2021	100	Diğer	39.79438	40.98558	Point
63754	12/14/2021	100	Diğer	39.78882	40.99052	Point
63919	1/8/2022	100	Diğer	39.79171	40.98557	Point
63948	12/31/2021	100	Diğer	39.79429	40.98521	Point
64034	12/1/2021	100	Diğer	39.79629	40.98447	Point
64183	1/1/2022	100	Diğer	39.7882	40.99163	Point
64211	12/28/2021	100	Diğer	39.79411	40.98777	Point

Şekil 15. Su hatlarına ait sözel veriler

Uygulama sayesinde veri tabanındaki tüm altyapı elemanlarının tamamının sorgusu yapılabilir. İçme suyu altyapısına ait su depoları, hatlar, sokaklar öznitelik bilgilerine göre sorgulanabilir. Yapılan uygulama ile arıza nokta verileri ile sokak verileri ilişkilendirilmiştir. Arıza nokta verileri ile ilişkilendirilen sokaklar arıza sayılarına göre renklendirilebilir ve boyutlandırılabilir. Şekil 16'da uygulama bölgesine ait bir arıza sokak haritası yer almaktadır. Arıza nokta verileri ile harita üzerinde renklendirilerek grafiksel olarak arıza yoğunluk haritaları oluşturulmuştur. Arıza yoğunluk haritası arızaların nerelerde yoğunlaştığını gösterir. Yoğunluk haritası, arıza sıklığı konusunda verinin daha iyi anlaşılması, okunması ve analiz edilebilmesini sağlamaktadır. Uygulama bölgesine ait arıza yoğunluk haritası Şekil 17'de sunulmuştur.





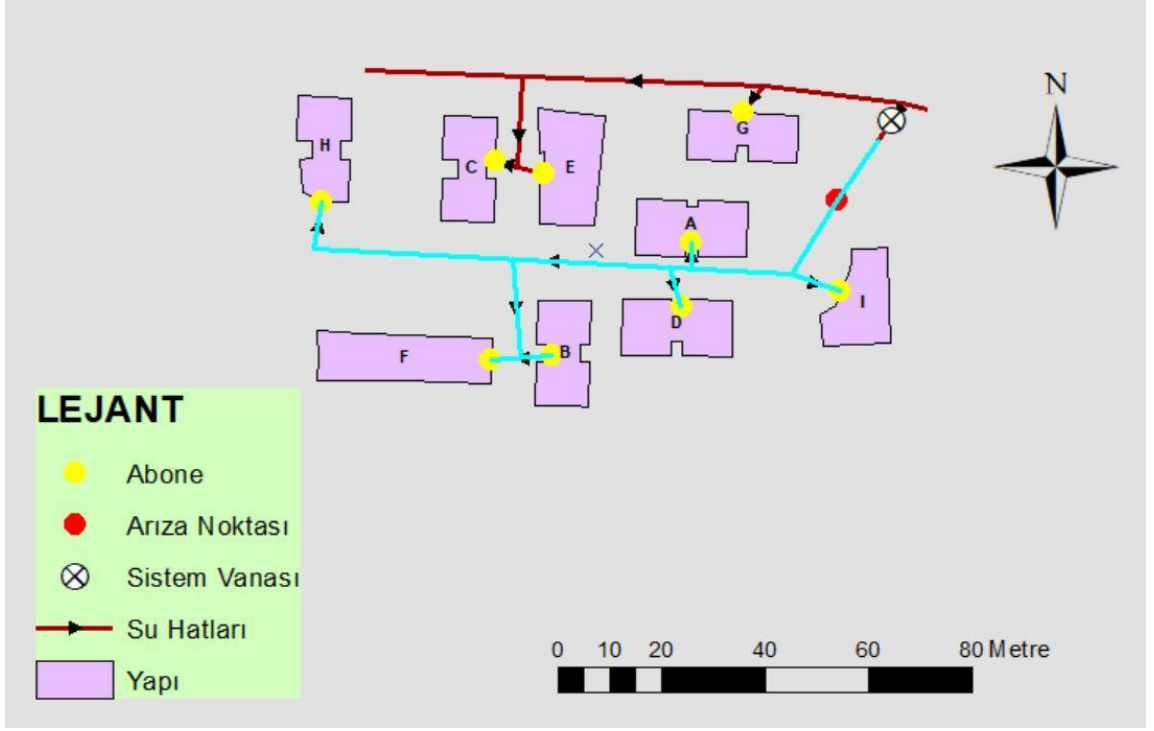


Uygulama ile altyapı ve arıza verileri dışında su tüketicilerine sağlanan suyun iletimindeki tüm su elemanlarının kullanılarak; su kesintisi, su tüketimi, su hatlarının yapım yıl bilgileri ve borç durumları sorgulanabilir. Ayrıca oluşacak planlı su kesintileri veya ani arıza durumlarında, hangi yapıların etkileneceği tespit edilebilir. Şekil 18’de görüldüğü üzere kırmızı nokta ile konumu gösterilen arızalı su elemanlarının tespiti durumunda ilgili su vanasının kapatılması gerekliliği analiz edilebilmektedir. Oluşan arızadan dolayı meydana gelen su kesintisinden A, B, D, F, H, I binalardaki su tüketicilerinin etkileneceği, ancak, C, E, G binalarındaki su tüketicilerinin etkilenmeyeceği analiz edilebilir. Böylesi bir durumda, ilgili mahalledeki tüm su tüketicilerine bildirim yapılmasına ve su kesintisine gerek kalmamaktadır. Su kesintisi, sadece ilgili su tüketicilerine yapılabilmektedir.

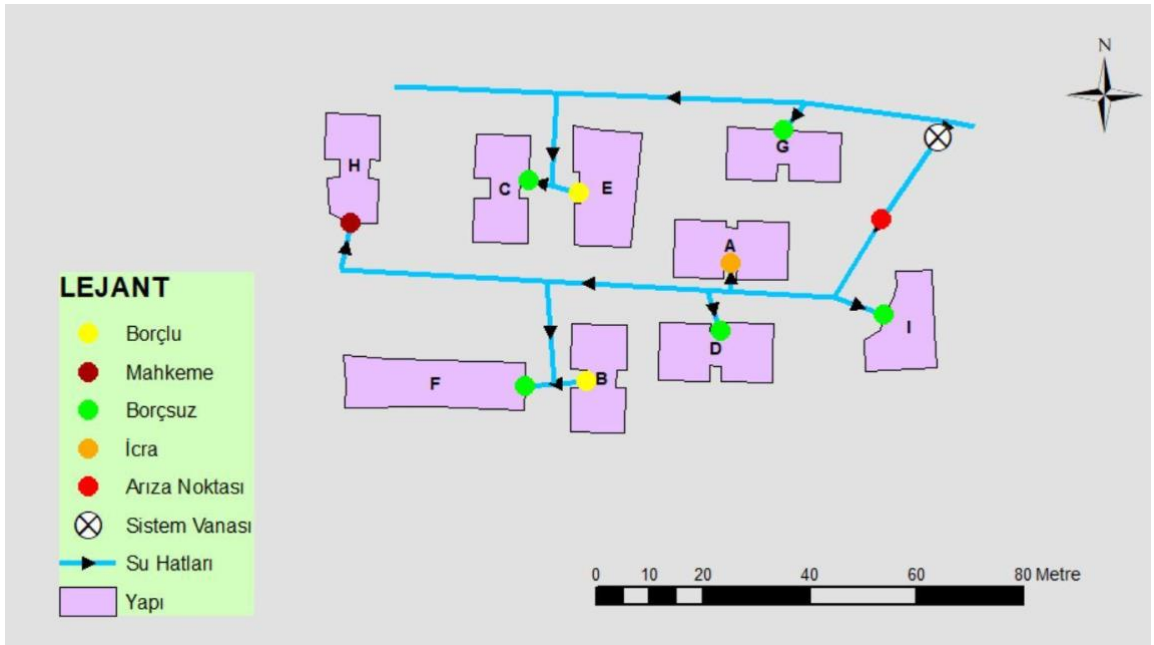
Uygulama ile altyapı, arıza ve adres verilerinin yanında yapılardaki su tüketicilerinin içme suyu aboneliklerine ait borç durum bilgileri de sisteme aktarılabilir. Uygulama ile her bir abonenin konumsal birimlerine göre borç sorgulamalarına erişilebilir. Bu durum örnek veriler kullanılarak Şekil 19’da sunulmuştur.

Çalışma bölgesindeki örnek yapıların su tüketim miktarlarının gösterildiği ve su abonelerine su ileten hatların yıpranmışlık seviyesi de analiz edilebilir. Bunun için bir gösterge olan su elemanlarının inşaat/imalat yapım tarihleri dikkate alınabilir. Bu amaçla bir harita hazırlanmış ve Şekil 20 ile sunulmuştur. Uygulama ile arıza yoğunluk analizi dışında, su tüketicilerinin borç ödeme durumuna

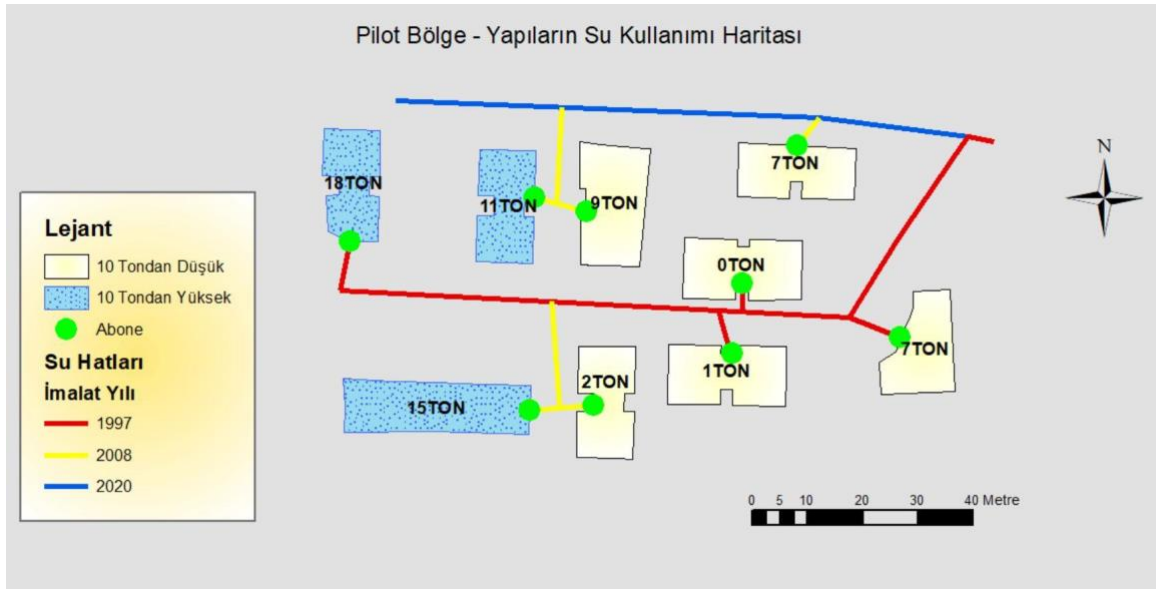
göre yoğunluk haritası da oluşturulabilmektedir. Borç yoğunluk haritası ile tüm ilin hangi ilçe, mahalle veya hangi bölgelerinde ödeme sürelerinin ne kadar geciktirildiği de analiz edilebilmektedir.



Şekil 18. Arıza bulunan hatlar ile ilişkilendirilmiş yapıların haritası



Şekil 19. Abonelerin borç durumunu gösteren örnek bir harita



Şekil 20. Yapıların su tüketimleri ile hatların yapım yılını gösteren örnek

#### 4. Bulgular ve İrdelemeler

Dünya genelinde, kıt bir kaynak haline gelen "arazi" varlığının (Haberl, 2015), AB tarafından geliştirilen INSPIRE standartları (URL-1, 2024) ve ardından ISO standardı haline gelen LADM'ye (URL-9, 2024) uygun şekilde yönetilmesi başta gelişmiş ülkeler olmak üzere dünya ülkeleri tarafından hedeflenmektedir (Lemmen et al., 2013; 2015). Benzer hedef ülkemiz için geçmişten süregelen "tapu" ve "kadaströ" bilgi sistemlerinin devamı niteliğinde, günümüzde TUCBS'ye dönüşen bir formda ve e-Türkiye dönüşüm projesi ile eşgüdümlü olarak işletilmektedir (URL-3, 2024). FIG tarafından "arazi nesnesi" olarak adlandırılan kadaströ parseli (FIG, 1998) tüm bu hizmetlerin temeli niteliğindedir. Zaten FIG, "arazi nesnesi" olarak tanımlanan kadaströ parseli ve ilişkili coğrafi varlıkların, tapu ve kadaströ sistemlerinden veri modeline geçiş sürecini ülke ayrımı gözetmeksizin belirli standartlarda yönetmeyi esas alır (Stuedler, 2014). Uluslararası bu yaklaşımlara paralel bir şekilde, Türkiye'de coğrafi varlıklarını coğrafi veri modeli ve çevrimiçi vasıtalarla yönetmeye çabalamaktadır. Bilindiği üzere günümüzde "taşınmaz tabanlı" yürütülen örnek e-devlet uygulamaları son derece etkin bir durumdadır. Kurumlar arası işbirlikleri her geçen gün artmakta, klasik ortamlardan dijital ortamlara tüm iş ve işlemler aktarılmaya devam etmektedir. E-devlet kapısından sunulan kamu hizmetlerinin sayısı Aralık 2023 itibarıyla 7,516'ya, mobil hizmetlerin sayısı ise 4,413'e ulaşmıştır. Bu hizmetlerden aynı dönem itibarıyla 64.12 milyon kayıtlı kullanıcı istifade edebilmektedir (URL-7, 2024). E-Türkiye üzerinden ilgili taşınmaz sahipleri, kurumlar, belediyeler bazı verilere erişebilmektedir. Belediyeler de kendi sorumluluklarında olan coğrafi varlıklara ilişkin benzer süreçleri e-devlet üzerinden yürütmektedir. Bir belediye hizmeti olan bu çalışma, belirtilen LADM standartlarında ve e-devlet sistemi içinde ele alınarak; içme suyu coğrafi



bilgi sistemi tasarımı ve uygulaması ile tamamlanmıştır. Son yıllarda Trabzon kentinde üst yapı ve altyapı çalışmalarının özellikle Trabzon merkezinde, büyükşehir belediyesine dönüşüm süreci ile de ilişkili olarak, yoğunlaştığı bilinmektedir. Kentin gelişmesiyle su, kanalizasyon, doğalgaz, elektrik gibi kamu hizmetlerinde artış olmuştur. Yapılan bu çalışmada kamu hizmetlerinden birisi olan su altyapısının Trabzon şehrindeki varlığı ve işletilmesi ele alınmıştır. İmalat, inşaat, bakım ve onarım çalışmaları için yer altında gömülü vaziyette olan içme suyu elemanlarının konumsal ve sözel bilgilerinin büyük önem arz ettiği sahada yapılan çalışmalar, incelenen planlar, kuruma gelen bildirimlerden yararlanılarak tespit edilmiştir.

İçme suyu veri teması TUCBS içinde modellenmiştir (URL-4, 2024). Bu çalışmayla, TUCBS içme suyu veri modelinde yer almayan arıza ve abone verileri dikkate alınarak içme suyu veri modeli geliştirilmiştir. Ayrıca diğer UML diyagramları olan aktivite, paket ve kullanıcı-durum diyagramları ile model daha da anlaşılır kılınmıştır (Reggio vd., 2015). Ardından TİSKİ'nin tüm sorumluluk alanındaki içme suyu bilgi sistemi çalışmalarından elde edilen izlenim ve deneyimler ile belirlenen çalışma bölgesinde çeşitli konumsal analizler gerçekleştirilmiştir.

İçme suyu altyapı bilgi sistemi kurmadan önce, nasıl bir sistem kurgulanması gerektiği araştırılmıştır. Kurulacak olan coğrafi bilgi sisteminde; klasik veriler olan kağıt formatındaki altyapı haritaları, 2014 sonrası yapım işlerindeki dijital haritalar temel veri kaynaklarıdır. Altyapı sistemindeki tüm içme suyu altyapı elemanları, bu temel haritalardan üretilmektedir. TİSCBS için birleşik modelleme dili ile kullanım senaryosu diyagramı, etkinlik diyagramı, paket diyagramı ve sınıf diyagramları oluşturularak bilgi sistemi kurulmadan önce tasarım gerçekleştirilmiştir. Model tasarımı TUCBS.AY\_Su sınıfı dikkate alınarak kurgulanmıştır. Zira mevcuttaki TUCBS ilgili sınıfında olmayıp, tasarlanan modelde olması düşünülen farklı sınıflar kurgulanmıştır. Bu sayede, arıza, bakım/onarım, abonelik, icra takibi ve mahkeme süreçleri, abone bilgilendirmeleri gibi süreçlerde sistem üzerinden kontrol ve takip edilebilir.

Uygulamanın yapılması için pilot bölge olarak çalışmanın tamamının gerçekleştirildiği Trabzon İli ve çalışmanın abone-arıza uygulamalarının gerçekleştirildiği Pelitli Mahallesi seçilmiştir. Veri tabanı tasarımına uygun şekilde uygulama bölgelerinde veriler toplanmıştır. Ancak, modelde olmasına rağmen TİSKİ'de henüz mevcut olmayan bazı veriler sisteme aktarılamamıştır.

Veri modeline uygun şekilde, mevcut içme suyu elemanlarının geçmişte inşa edilmiş tüm bileşenleri için coğrafi ve sözel veriler, coğrafi bilgi sisteme aktarılmıştır. Özellikle eski hatların bilinmemesi, toprak altında kalması, bazı hatların zamanla değiştirilmesi, saha personellerinin yazılı olmayan –tecrübeye dayalı- bilgilendirmeleri ile arazi çalışmaları yürütülmüştür. Eski hatların sisteme aktarımında-mevcut olması durumunda- klasik haritalarından yararlanılmıştır. Haritaların olmadığı sahalarda sanal çizim yöntemi ile içme suyu hatları ve su elemanlarına ait veriler sisteme

aktarılmıştır. Yeni içme suyu tesisi inşaatlarında ise tüm verilerin bilgi sistemine uygun şekilde, inşaat süreciyle eşzamanlı ve sayısal işletme planına uygun şekilde temin edilmesi sağlanmıştır.

Veri modelinde; abone, arıza, icra ve mahkeme bilgilerinin olması sayesinde içme suyuna ilişkin neredeyse tüm senaryoların yönetilebileceği bir bilgi sistemi oluşturmak mümkün olabilir. Şöyle ki; arızalanan hattın altyapı haritası olması durumunda kısa süre içinde bulunabildiği, herhangi bir harita veya dijital sistemin olmaması durumunda ise arızanın konumsal olarak tespit edilmesinin saatler sürebileceği tecrübe edilmiştir. Zira, içme suyu hatlarının bakım ve onarım çalışmaları kapsamında hatalı kazılar yapılabilir. Böylesi bir durumda; elektrik, doğalgaz, fiber optik vb. başka bir altyapı tesisine zarar verilebilir. Bakım ve onarımı yapılan hatların coğrafi ve öznelik bilgilerinin kaydedilmesi ile bu hatlarla ilgili gelecekteki olası yönetim sorunlarının çok kısa sürede tespit edilmesi ve giderilmesi sağlanabilir.

## 5. Sonuç ve Öneriler

Trabzon ilinde ve çalışma bölgesinde içme suyu altyapı bilgi sistemi için önce coğrafi veri modeli TUCBS veri şemaları dikkate alınarak geliştirilmiştir. TUCBS, INSPIRE ve LADM standartlarında hazırlandığından veri modelinin de kavramsal olarak INSPIRE ve LADM ile uyumluluğu sağlanmıştır. Model, UML diyagramları ile detaylandırılmıştır. Model tasarımından sonra, modele uygun bir coğrafi bilgi sistemi kurulması aşamasına geçilmiştir. Statik bir formda tasarlanan coğrafi bilgi sistemi; suyun depolanması, suyun iletimi ve su elemanları dışında, abonelere ait adres bilgileri ve su elemanlarının arıza bilgilerini de barındıracak bir yapıda ele alınmıştır. Sistemde mekânsal veriler ile birlikte tüm öznelik verileri de bulunduğundan, çalışma bölgesinin tamamında çeşitli konumsal ve sözel sorgulamalar yapılabilmektedir. Çalışma alanının tamamında abone bilgileri her bir bağımsız birim bazında-su aboneliği şeklinde- sisteme henüz aktarılamamıştır. Bu nedenle çalışma bölgesinin abone veri girişinin tamamlandığı Pelitli Mahallesi abone adres bilgilerinden ve abonelerin su tüketiminden yararlanılarak parsel/bina esasına göre su tüketimi haritaları üretilmiştir. Teknik birimlerdeki saha elemanlarının belirlediği arıza noktaları, arızalı su elemanları ve arızalı hatlar tespit edilmiştir. Benzer şekilde su abonelerinin şikâyetleri ve talepleri ile bildirilen tüm arızalar, su elemanları ile ilişkilendirilmiştir. Böylece tüm arızalar coğrafi bilgi sistemine aktararak, bakım-onarım çalışmaları öncelik sırasına göre planlanmıştır. Çalışma bölgesinin arıza yoğunluk haritaları oluşturulmuştur. Olası bakım ve onarımların bu yoğunluk haritalarına dayalı olarak yürütülmesi ile zaman ve emek kaybının önlenmesi sağlanmıştır. Borca dayalı zamansal ödeme bilgilerinin de içeren haritalar üretilmiştir. İçme suyu şebekesinin yıllara dayalı olarak yıpranma ve onarım ihtiyaç analizleri ise su elemanlarının yapım yılı, yapım malzemesi, arıza sıklığı verileri dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. İçme suyu borcunu zamanında ödemesi gerekirken, ödeme

gününi geciktiren veya borcunu ödemeyen abonelerin, borca konu taşınmazları ile ilişkisi üzerinden, ödeme borç miktarı veya gecikme süresine göre tematik haritalar üretilmiştir.

Yapılan bu çalışmada verilerin temini, dönüşümü ve işlenmesi ile ilgili edinilen izlenim ve saha tecrübelerinden şu önerilere erişilmiştir. Su ve kanalizasyon idareleri tarafından, sorumluluk alanındaki içme suyu alt yapı bilgi sistemlerinin bir an önce kurulması gerekmektedir. Sistemin uluslararası coğrafi veri modeli standartlarına uygun şekilde tasarımıdan sonra uygulama aşamasında su elemanlarına ait konumsal ve sözel verilerin kısa, orta ve uzun vadede edinilmesi planlanmalıdır. Kısa vadede yeni proje ve imalatlarda tüm verilerin edinimi ve bilgi sistemine aktarımı gerçekleştirilmelidir. Orta vadede işletme planlarının bir sistematik dâhilinde sayısallaştırılarak edinimi planlanmalıdır. Uzun vadede sanal çizim yöntemi ve su elemanlarından zemin üstü seviyede olanlarının ölçülmesi gerçekleştirilmelidir. Bu sayede içme suyu elemanlarının tamamının sisteme aktarımı sağlanmalıdır.

İçmesuyu altyapı bilgi sisteminin belirli elemanlarına uygun sayı ve nitelikte yerleştirilecek sensör vb.uzaktan algılama sağlayabilen aygıtlar sayesinde; su depolanması, kayıp ve kaçak, su akışı daha sağlıklı takip edilebilir. Meydana gelebilecek su arızaları daha erken ve etkin olarak tespit edilebilir. Bu aygıtlardan edinilen veriler CBS'ye entegre edilerek statik yapıda kurgulanan sistem, dinamik bir yapıya dönüştürülebilir. Aygıtların içme suyu altyapı bilgi sistemine entegre edilmesi için benzer çalışmaların farklı disiplinlerce veya disiplinlerarası bir yaklaşımla ele alınması, bu konuyla ilgilenen araştırmacılara, önerilmektedir.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Teşekkür**

Karadeniz Teknik Üniversitesi ve TİSKİ Genel Müdürlüğü eğitim protokolü kapsamında Üniversite/Kamu/Sanayii İşbirliğinde tamamlanan “Altyapı Tesisleri İçin Coğrafi Veri Modeli Geliştirilmesi ve Uygulanması: Trabzon İçme Suyu Coğrafi Bilgi Sistemi Örneği” başlıklı yüksek lisans tezine, desteklerinden ötürü Trabzon Büyükşehir Belediyesi ve TİSKİ Genel Müdürlüğü idareci ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Agardi, A., 2022. Relontouml: Development of a Model Based on Relational Model, Ontology and UML Müszaki Tudományos Közlemények , 16 (1), 1-4.
- Ahopelto, S., & Vahala, R., 2020. Cost-benefit analysis of leakage reduction methods in water supply networks. *Water*, 12(1), 195.
- Alıcı, O. V. ve Özaslan, K., 2016. Yerel Yönetimlerde Altyapı Sistemlerinin Sayısallaştırılması Ve Su Kayıplarının Önlenmesi. *Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Dergisi (Ibad)*, 3(1), 204-218.
- Altaş A., 2022. Altyapı Tesisleri İçin Coğrafi Veri Modeli Geliştirilmesi Ve Uygulanması: Trabzon İçme Suyu Coğrafi Bilgi Sistemi Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Aquino Ficarelli, T. R., & Ribeiro, H., 2021. The contribution of geographical information systems—GIS in water and sewage companies for water sustainability. In *Sustainability in natural resources management and land planning* (pp. 17-29). Cham: Springer International Publishing
- Ayadi, A., Ghorbel, O., BenSalah, M. S. ve Abid, M., 2019. A framework of monitoring water pipeline techniques based on sensors technologies. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*.
- Bayraktar, Z., 2019. Altyapı koordinasyon merkezleri için konumsal veri standartlarına uygun bilgi sistemi tasarımı: Trabzon örneği (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bozkurt, Y. ve Arslan, R., 2017. Kamusal Hizmet Sunumunda Suyun Yeri: Kütahya Belediyesi Örneği. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 201-213
- Çağdaş, V., 2013. An Application Domain Extension to CityGML for immovable property taxation: A Turkish case study. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 21, 545-555.
- Cardoso, M. A., Silva, M. S., Coelho, S. T., Almeida, M. C., & Covas, D. I. C., 2012. Urban water infrastructure asset management—a structured approach in four water utilities. *Water Science and Technology*, 66(12), 2702-2711.
- Clarke, K. C., McLafferty, S. L., & Tempalski, B. J., 1996. On epidemiology and geographic information systems: a review and discussion of future directions. *Emerging infectious diseases*, 2(2), 85.
- Çoruhlu, Y. E., Baser, V., & Yildiz, O., 2021. Object-based geographical data model for determination of the cemetery sites using SWOT and AHP integration. *Survey Review*, 53(377), 108-121.
- Çoruhlu, Y. E., & Çelik, M. Ö., 2022. Protected area geographical management model from design to implementation for specially protected environment area. *Land Use Policy*, 122, 106357.
- Çoruhlu, Y. E., Inan, H. I., Yilmaz, H. ve Demir, O., 2015. Geographic Data Model Of Foundation İmmovable. *Sigma Journal Of Engineering And Natural Sciences*, 33(4), 539-559.
- Çoruhlu, Y. E., & Toludan, T., 2020. Data model development for 'buying and selling' transactions as a real estate acquisition method. *Survey review*, 52(374), 403-414.
- Delgado, J. A., Groffman, P. M., Nearing, M. A., Goddard, T., Reicosky, D., Lal, R., ... & Salon, P., 2011. Conservation practices to mitigate and adapt to climate change. *Journal of soil and water conservation*, 66(4), 118A-129A.
- Egenhofer, M. J., & Frank, A., 1992. Object-oriented modeling for GIS. *Journal of the Urban and Regional Information Systems Association*, 4(2), 3-19.
- Ertunç, E., Muchová, Z., Tomić, H., & Janus, J., 2022. Legal, procedural and social aspects of land valuation in land consolidation: A comparative study for selected Central and Eastern Europe countries and Turkey. *Land*, 11(5), 636.
- Eynard, B., Gallet, T., Nowak, P. ve Roucoules, L., 2004. UML based specifications of PDM product structure and workflow. *Computers in industry*, 55(3), 301-316.
- Gleick, P. H., 1998. Water in crisis: paths to sustainable water use. *Ecological applications*, 8(3), 571-579.
- Güneş, A. M., 2010. European Union Water Framework Directive and Turkish Water Law. *EU, Turkish and German Environmental Law Symposium*, 18-20.
- Günhan, Ö., 2014, Yeraltı Sularının Kalitesinin Değerlendirilmesi Açısından Uygun Bir Metodoloji Araştırması, Uzmanlık Tezi, T. C. Orman Ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- FIG, 1998. Cadastre 2014: A Vision for The Future Cadastral System. <<https://fig.net/resources/publications/figpub/cadastre2014/index.asp>>
- Haberl, H., 2015. Competition for land: A sociometabolic perspective. *Ecological Economics*, 119, 424-431.
- İnan, H. İ. ve Yomralıoğlu, T., 2011. Land Administration Domain Model. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (104), 21-29.

- İşitmezoğlu, S. Ve Ataman, S., 2007. Altyapı Bilgi Sisteminin Ülkemiz İçin Önemi, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, 30 Ekim –02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon
- Kalogianni, E., Janečka, K., Kalantari, M., Dimopoulou, E., Bydłosz, J., Radulović, A., ... & Van Oosterom, P., 2021. Methodology for the development of LADM country profiles. *Land Use Policy*, 105, 105380.
- Kang, D. ve Lansey, K., 2013. Scenario-Based Robust Optimization of Regional Water and Wastewater Infrastructure, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 139 (3), 325-338.
- Kara, A., Çağdaş, V., Isikdag, U., van Oosterom, P., Lemmen, C., & Stubkjaer, E., 2021. The LADM Valuation Information Model and its application to the Turkey case. *Land use policy*, 104, 105307.
- Karley, N. K., 2009. Flooding and physical planning in urban areas in West Africa: Situational analysis of Accra, Ghana. *Theoretical and Empirical Researches in Urban Management*, 4(4 (13), 25-41.
- Lal, R., 2012. Climate change and soil degradation mitigation by sustainable management of soils and other natural resources. *Agricultural Research*, 1, 199-212.
- Lemanski, C., & Massey, R., 2022. Is the grid people or product? Relational infrastructure networks in Cape Town's energy-housing nexus. *Urban Geography*, 1-25.
- Lemmen, C. H. J., Van Oosterom, P. J. M., Uitermark, H. T., & De Zeeuw, K., 2013. Land administration domain model is an ISO standard now. In *Proceedings of the Annual World Bank Conference on Land and Poverty*, Washington (USA), 8-11 April, 2013. World Bank.
- Lemmen, C., Van Oosterom, P., & Bennett, R., 2015. The land administration domain model. *Land use policy*, 49, 535-545.
- Omole, D. O., & Ndambuki, J. M., 2014. Sustainable living in Africa: Case of water, sanitation, air pollution and energy. *Sustainability*, 6(8), 5187-5202.
- Pedro-Monzonis, M., Solera, A., Ferrer, J., Estrela, T., & Paredes-Arquiola, J., 2015. A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, 527, 482-493.
- Polat, Z. A., Alkan, M. ve Sürmeneli, H. G., 2017. Determining strategies for the cadastre 2034 vision using an AHP-Based SWOT analysis: A case study for the turkish cadastral and land administration system. *Land use policy*, 67, 151-166.
- Polat, Z. A., & Alkan, M., 2018. Design and implementation of a LADM-based external archive data model for land registry and cadastre transactions in Turkey: A case study of municipality. *Land use policy*, 77, 249-266.
- Polat, Z. A., Alkan, M., Paulsson, J., Paasch, J. M., & Kalogianni, E., 2022. Global scientific production on LADM-based research: A bibliometric analysis from 2012 to 2020. *Land use policy*, 112, 105847.
- Reggio, G., Leotta, M., Ricca, F., & Clerissi, D., 2015. What are the used UML diagram constructs? A document and tool analysis study covering activity and use case diagrams. In *Model-Driven Engineering and Software Development: Second International Conference, MODELSWARD 2014*, Lisbon, Portugal, January 7-9, 2014, Revised Selected Papers 2 (pp. 66-83). Springer International Publishing.
- Resmi Gazete, Sular Kanunu. (831), 28.4.1926
- Resmi Gazete, Yerleşim Yerlerine İçme, Kullanma ve Sanayi Suyunun Belediye Teşkilatları İle Temini Hakkında Kanun. (1053), 3.7.1968
- Resmi Gazete, İSKİ Genel Müdürlüğünün Kuruluş ve Görevleri Hakkında Kanun. (2560), 20.11.1981
- Resmi Gazete, Büyükşehir Belediyesi Kanunu. (5216), 10.7.2004
- Resmi Gazete, Belediye Kanunu. (5393), 13.7.2005
- Sadeghioon, A. M., Metje, N., Chapman, D. ve Anthony, C., 2018. Water pipeline failure detection using distributed relative pressure and temperature measurements and anomaly detection algorithms. *Urban Water Journal*, 15(4), 287-295.
- Stuedler, D., 2014. Cadastre 2014 and Beyond. FIG Publication No:61. International Federation of Surveyors, Copenhagen, Denmark.
- Tezcan, A., Büyüктаş, K., & Aslan, Ş. T. A., 2020. A multi-criteria model for land valuation in the land consolidation. *Land use policy*, 95, 104572.
- Trabzon İçme Suyu ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, 2015. 2015-2019 Stratejik Planı, URL: <https://www.tiski.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=272>
- Trabzon İçme Suyu ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü, 2020. 2020-2024 Stratejik Planı, URL: <https://www.tiski.gov.tr/icerik/detay.aspx?Id=3526>
- Weeks, J. R., 2010. Defining urban areas. *Remote sensing of Urban and Suburban areas*, 33-45.
- Zhao, X., Yu, J., Lin, Y., & Ning, S., 2020. The application of WebGIS technology in coal mine. In *Computer Applications in the Mineral Industries* (pp. 837-840). CRC Press.

URL-1, 2024. <https://inspire.ec.europa.eu/about-inspire/563>

URL-2, 2024. <https://cbs.csb.gov.tr/cograf-veri-temalari-hakkinda-i-86103>

URL-3, 2024. <https://www.tkgm.gov.tr/projeler/turkiye-ulusal-cograf-bilgi-sistemi-tucb>

URL-4, 2024. [https://tucbs-public-api.csb.gov.tr/tucbs/tucbs\\_uml\\_model/index.htm](https://tucbs-public-api.csb.gov.tr/tucbs/tucbs_uml_model/index.htm)

URL-5, 2024. [www.skdturkiye.org/files/yayin/turkiyede-suyun-durumu-ve-su-yonetiminde-yeni-yaklasimlar-raporu.pdf](http://www.skdturkiye.org/files/yayin/turkiyede-suyun-durumu-ve-su-yonetiminde-yeni-yaklasimlar-raporu.pdf)

URL-6, 2024. <https://www.suen.gov.tr/Suen/catdty.aspx?val=197>

URL-7, 2024. <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/692>

URL-8, 2024. <https://www.tarimorman.gov.tr/sygm/menu/27/gorev-ve-yetkiler>

URL-9, 2024. <https://www.iso.org/standard/51206.html>

## VLC Sistemlerinde QLED Kullanan Renk Kaydırmalı Anahtarlama Modülasyonunun Sembol Hata Oranı Analizi

Emin TUĞCU<sup>1\*</sup> 

### Öz

Görünür ışık haberleşme (VLC) sistemleri, iç mekan uygulamaları için aydınlatma fonksiyonu ile eş zamanlı olarak yüksek hızlı güvenilir veri iletimini de sağlarlar. VLC sistemlerinde, vericide ışık yayan diyotlar (LED) alıcıda ise yaygın olarak foto-diyotlar (PD) kullanılır. Aydınlatma için LED'lerin iyi bir ışık etkinliğine ve renksel geriverim indeksine (CRI) sahip olması gerekir. Haberleşme için ise LED'lerin yüksek veri hızlarını desteklemesi için geniş bir modülasyon bant genişliğine sahip olmaları gerekmektedir. Yüksek veri hızlarını desteklemek için yeterli renksel geriverim indeksine sahip çok renkli kırmızı-yeşil-mavi (RGB) LED'ler kullanan renk kaydırmalı anahtarlama (CSK) modülasyonu IEEE 802.15.7 VLC standardında tanıtılmıştır. VLC sistemlerinde, daha iyi renksel geriverim indeksine sahip Quadrichromatic LED'ler (QLED) de eşzamanlı aydınlatma ve iletişim için uygundur. QLED sadece ek bir veri kanalı değil, aynı zamanda aydınlatmada daha iyi bir renk kalitesi sunmaktadır. Bu nedenle VLC sistemlerinde QLED hem aydınlatma kalitesi hem de yüksek veri hızları için en iyi seçenektir. Bu çalışmada QLED kullanan VLC sistemlerinde AWGN kanallar için sembol hata oranı (SER) analizi yapılmış ve analitik modeller türetilmiştir. SER analizinde, toplam hata üzerinde etkisi yüksek olan semboller arasındaki geçiş olasılıklarının hesaplanması ile analitik modeller türetilmiştir. Bu analizde semboller arasındaki öklid uzaklıkları kullanılmıştır. Türetilen SER modelleri birleşim üst sınırı ve benzetim sonuçları ile uyum göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Görünür ışık haberleşmesi, Renk kaydırmalı anahtarlama, Quadrichromatic LED, Sembol hata oranı.

## Symbol Error Rate Analysis of Color Shift Keying Modulation Using QLED in VLC Systems

### Abstract

Visible light communication (VLC) systems provide high-speed reliable data transmission simultaneously with the illumination function for indoor applications. In VLC systems, light emitting diodes (LEDs) are used at the transmitter and photo-diodes (PDs) are commonly used at the receiver. For lighting, LEDs must have good luminous efficacy and a good color rendering index (CRI). For communication, LEDs need to have a wide modulation bandwidth to support high data rates. Color shift keying (CSK) modulation using multicolor red-green-blue (RGB) LEDs with sufficient color rendering index to support high data rates was introduced in the IEEE 802.15.7 VLC standard. In VLC systems, quadrichromatic LEDs (QLED) with a better color rendering index are also suitable for simultaneous illumination and communication. QLED offers not only an additional data channel, but also a better color quality in illumination. Therefore, QLED is the best choice in VLC Systems for both illumination quality and high data rates. In this study, symbol error rate (SER) analysis and analytical models are derived for AWGN channels in VLC systems with QLED. In the SER analysis, analytical models are derived by calculating the transition probabilities between symbols, which have a high impact on the total error. Euclidean distances between symbols were used in this analysis. The derived SER models are compatible with the union bound and simulation results.

**Keywords:** Visible light communication, Color shift keying, Quadrichromatic LED, Symbol error rate.

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Trabzon, Türkiye, [emintugcu@ktu.edu.tr](mailto:emintugcu@ktu.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 18.02.2024

Kabul/Accepted: 14.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki gelişmeler yüksek hızlı kablosuz haberleşme sistemlerini yaşantımızın temel gereksinimlerinden birisi durumuna getirmiştir. Bu gelişmeler sonucunda, özellikle son yıllarda akıllı cihazların sayısının artması ve nesnelerin interneti (IoT) uygulamalarının hızla yaygınlaşması kullanıcı yoğunluğunun ve veri trafiğinin artmasına neden olarak radyo frekans bandında kapasite problemini oluşturmuştur. Kablosuz haberleşme sistemlerinde veri hızının üst sınırı iletişim bant genişliğine bağlıdır (Shannon, 1949). Bu nedenle radyo frekans bandındaki kapasite problemi çözüm bekleyen önemli bir problemdir. Bu probleme bir çözüm, radyo frekans bandını tamamlayıcı nitelikte olan ve aynı zamanda girişim oluşturmayan görünür ışık bandının kullanımıdır. Görünür ışık bandında aydınlatma ile eşzamanlı olarak iletişimin gerçekleştirilmesi dikkat çekici bir gelişme olup akademi ve endüstrinin ilgisini çekmiştir.

Son yıllarda yüksek enerji verimliliklerinden dolayı geleneksel aydınlatma sistemlerinin yerlerini ışık yayan diyotları (LEDs) kullanan aydınlatma sistemleri almaya başlamıştır. LED'lerin düşük fiyatları ve uzun ömürleri nedeniyle de geleneksel aydınlatma sistemlerine göre önemli avantajları vardır (Zukauskas ve ark., 2014). Eski aydınlatma teknolojilerinin aksine, LED aydınlatma sistemlerinde ışık yoğunluğu insan gözünün fark edemeyeceği kadar hızlı bir şekilde değiştirilebilmektedir (Han ve ark., 2015). LED'lerin hızlı anahtarlama özelliği, aydınlatma ile eşzamanlı olarak iletişim amaçlı kullanımlarını da mümkün kılmaktadır. Bu işlevsellik, görünür ışık haberleşme (VLC) teknolojisinin gelişmesine yol açmıştır. LED'lerin aydınlatma sistemlerinde artan kullanımlarından dolayı hem akademik hem de endüstriyel topluluklar, sunduğu lisanssız geniş bant genişliği nedeniyle VLC'ye daha fazla ilgi duymaya başlamıştır.

VLC, radyo frekansına (RF) dayalı geleneksel kablosuz iletişim teknolojilerini tamamlayan umut verici bir teknolojidir. VLC sistemlerinde LED ve lazer gibi ışık yayan diyotlar verici olarak kullanılırlar. Alıcı olarak ise fotodiyotlar (PDs) gibi yarı iletken devre elemanlarının yanı sıra kameralar da kullanılmaktadır. LED'lerin ve PD'lerin fiziksel özellikleri nedeniyle, VLC sistemlerinde yoğunluk modülasyonu ve doğrudan algılama (IM/DD) kullanılır. Aydınlatma fonksiyonu için LED'ler tarafından yayılan ışığın beyaz ışık olması gerekmektedir. Maliyet ve karmaşıklık nedenleriyle genellikle beyaz fosforlu LED'ler kullanılır. Bu LED'ler optik spektrumu verimsiz kullandıkları için yüksek veri hızlarına izin vermezler (Chow ve ark., 2011). Farklı bir yöntem kullanılarak aydınlatma için beyaz ışık, çok renkli LED'lerle birden fazla monokromatik ışığın birleştirilmesiyle elde edilebilir. Dalga boyu bölmeli çoğullama (WDM) teknolojisi sayesinde, çok renkli LED kullanılarak geliştirilen VLC sistemi, daha yüksek modülasyon bant genişliği nedeniyle yüksek hızlı veri iletimi için büyük bir potansiyele sahiptir. Her bir renk bandından iletilen bilginin bağımsız olarak modülasyonunun gerçekleştirilmesi beyaz ışığın üretilmesinde problem



oluşturmaktadır (Jia ve ark., 2015). Bu problemin çözümü için IEEE 802.15.7 VLC standardında, kırmızı-yeşil-mavi (RGB) LED'ler olarak bilinen çok renkli beyaz LED'leri kullanan renk kaydırma anahtarlama (CSK) modülasyonu tanımlanmıştır (IEEE VLC Standard, 2011). Bu yapı TLED-CSK olarak da adlandırılmaktadır. CSK modülasyonu aynı zamanda, yüksek spektral verimlilik ve karartma desteği de sunmaktadır. Buna ek olarak, CSK modülasyonu, renk kanallarından iletilen işaretin gücünün dengeli olmasından dolayı ışığın parlaklığının dalgalanmasını önler ve titreyen ışığın neden olduğu sağlık sorunları riskini azaltır.

Genel aydınlatma açısından değerlendirildiğinde renksel geriverim de ışık kaynaklarının en önemli özelliklerinden birisidir. Işık kaynağı zayıf renksel geriverime sahipse, genel aydınlatma için kullanılamaz. Bu açıdan bakıldığında, RGB LED'ler yeterli renksel geriverimi sağlarlar. Daha yüksek renksel geriverim elde etmek için üçten fazla LED kullanma konsepti sunulmuştur (Butala ve ark., 2012). Dört renge dayalı QLED-CSK adı verilen CSK modülasyonunun geliştirilmiş bir versiyonu (Singh ve ark., 2014) çalışmasında sunulmuştur. QLED-CSK, geleneksel RGB LED'leri kullanan TLED-CSK sistemine göre daha iyi renksel geriverime ve ışık verimliliğine sahiptir (Ohno, 2005). Bu nedenle VLC sistemlerinde QLED-CSK yapısı, hem daha iyi aydınlatma kalitesi elde etmek için hem de yüksek veri hızlarına ulaşmak için en iyi seçenek olarak düşünülebilir. Aynı zamanda QLED-CSK yapısı TLED-CSK yapısına kıyasla ilave dalga boyu ile VLC sistemlerinde önemli bir performans artışı da sunmaktadır (Singh ve ark., 2014).

Yüksek veri hızlarının ve aydınlatma kalitesinin amaçlandığı VLC sistemleri için QLED-CSK yapısının kullanılması etkin bir çözümdür. Bu yapının SER başarımı analizi için 4 boyutlu işaret uzayında özellikle yüksek seviyeli modülasyon türleri için karar bölgelerinin tam olarak belirlenmesi zor bir problemdir. Bu nedenle sembol hata oranının (SER) analitik olarak değerlendirilmesi kolay değildir. (Singh ve ark, 2014) çalışmasında 4 boyutlu sembol uzayında semboller arasındaki en küçük öklid mesafesi kullanılarak analitik olarak SER analizi yapılmıştır. (Singh ve ark., 2015) çalışmasında sembol uzayında tüm semboller arasındaki geçiş olasılıklarının toplanmasıyla birleşim üst sınırı için analiz yapılmıştır. (Tuğcu ve ark, 2018) çalışmasında TLED-CSK yapısı için sembol uzayında sembol hatasının üzerinde etkisi yüksek olan sembollerin değerlendirilmesiyle SER analizi yapılmış ve analitik modeller türetilmiştir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda, bu çalışmada da QLED-CSK yapısı için SER analizi yapılarak analitik modeller türetilmiştir. Analizler 4-boyutlu sembol uzayında hata olasılığında etkisi yüksek olan semboller arasındaki geçiş olasılıklarının hesaplanması ile yapılmıştır. Bu değerlendirmede semboller arasındaki öklid uzaklıkları kullanılmıştır. Önerilen modeller işaret uzayındaki tüm semboller arasındaki geçiş olasılıklarının toplandığı birleşim üst sınırı ve benzetim sonuçları ile uyum göstermektedir.

Çalışmanın sonraki kısmında TLED-CSK ve QLED-CSK sistemlerinde modülasyon ve demodülasyon işlemleri genel olarak açıklanmıştır. Üçüncü ve dördüncü bölümde SER analizleri ve elde edilen nümerik sonuçlar verilerek son bölümde çalışmanın sonuçları irdelenmiştir.

## 2. CSK Modülasyonu ve Demodülasyonu

### 2.1. TLED-CSK Yapısı

VLC sistemlerinde aydınlatma gereksinimlerinden dolayı renk kanallarından iletilen işaretlerin pozitif olma zorunluluğu vardır. IEEE 802.15.7 VLC standardında sunulan CSK modülasyonunda kırmızı, yeşil ve mavi (RGB) çok renkli LED'ler tarafından yayılan ışığın yoğunluğu modüle edilerek veri iletimi gerçekleştirilir. CSK modülasyonu CIE 1931 renk uzayında uluslararası aydınlatma komisyonu tarafından tanımlanan  $x$ - $y$  renk koordinatları kullanılarak gerçekleştirilir. Verici tarafta iletilecek veri renk kodlaması ile CIE 1931 renk uzayında  $x$ - $y$  kromatik değerleri ile tanımlanan  $M$  seviyeli sembollere dönüştürülür (IEEE VLC Standard, 2011). Daha sonra kromatik değerlere karşılık gelen optik kanallara ait güç yoğunlukları denklem (1), (2) ve (3) kullanılarak elde edilir.

$$x = P_i x_i + P_j x_j + P_k x_k \quad (1)$$

$$y = P_i y_i + P_j y_j + P_k y_k \quad (2)$$

$$P_i + P_j + P_k = 1 \quad (3)$$

Denklem sistemindeki  $(x_i, y_i)$ ,  $(x_j, y_j)$  ve  $(x_k, y_k)$  kullanılan ışık kaynaklarının merkez dalga boylarının kromatik değerlerine karşılık gelirler. Her bir sembole ait hesaplanan  $[P_i, P_j, P_k]$  yoğunluk değerleri sembol uzayında  $\mathbf{s}_m = [P_i, P_j, P_k]^T$ ,  $0 \leq m \leq M - 1$  olmak üzere 3-boyutlu sembolleri oluştururlar. Alıcı tarafta ise foto detektörler tarafından alınan optik sinyal elektriksel işarete dönüştürülür. AWGN kanal için alıcıda alınan işaret denklem (4) ile verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \hat{P}_i \\ \hat{P}_j \\ \hat{P}_k \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_i \\ P_j \\ P_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_i \\ \eta_j \\ \eta_k \end{bmatrix} \quad (4)$$

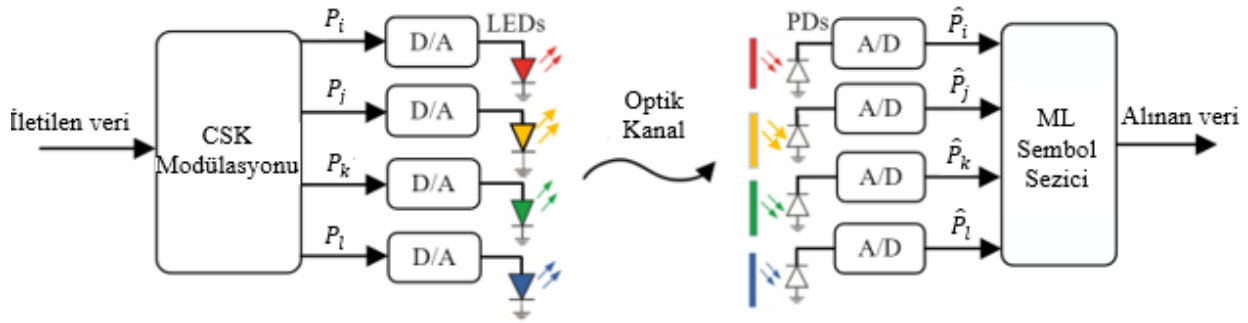
Burada,  $\eta_i$ ,  $\eta_j$  ve  $\eta_k$  her birinin varyansı  $\sigma^2$  olan beyaz gürültüdür. Alınan işaret  $\hat{\mathbf{s}} = [\hat{P}_i, \hat{P}_j, \hat{P}_k]^T$ , den denklem (5)' de verildiği gibi en büyük olabilirlik (ML) sezici kullanılarak sembol uzayında en küçük öklid mesafesine göre değerlendirme yapılarak iletilen sembollere karar verilir.

$$\bar{s} = \underset{s_l \in A}{\operatorname{argmin}} \|\hat{\mathbf{s}} - \mathbf{s}_l\|_2 \quad (5)$$

Burada A, M seviyeli CSK sembollerinden oluşan kümeyi gösterir.

## 2.2. QLED-CSK Yapısı

QLED-CSK sisteminde, Şekil 1' de verilen blok diyagramından da görüldüğü gibi TLED-CSK sisteminden farklı olarak 4 farklı renk kanalı kullanılmaktadır.



Şekil 1. QLED-CSK sisteminin blok diyagramı

LED'ler tarafından yayılan ışığın yoğunluğunu modüle etmek için dört farklı LED kullanılır. Renk kanallarından iletilen işaretin güç yoğunluklarını elde etmek için denklem (6), (7) ve (8) kullanılır.

$$x = P_i x_i + P_j x_j + P_k x_k + P_l x_l \quad (6)$$

$$y = P_i y_i + P_j y_j + P_k y_k + P_l y_l \quad (7)$$

$$P_i + P_j + P_k + P_l = 1 \quad (8)$$

TLED-CSK sisteminde olduğu gibi denklem sistemindeki  $(x_i, y_i)$ ,  $(x_j, y_j)$ ,  $(x_k, y_k)$  ve  $(x_l, y_l)$  kullanılan ışık kaynaklarının merkez dalga boylarının kromatik değerlerine karşılık gelirler. Her bir sembole ait hesaplanan  $[P_i, P_j, P_k, P_l]$  yoğunluk bilgileri işaret uzayında  $\mathbf{s}_m = [P_i, P_j, P_k, P_l]^T$ ,  $0 \leq m \leq M - 1$  olmak üzere 4-boyutlu sembollerini oluştururlar. TLED-CSK sisteminden farklı olarak denklem (6), (7) ve (8) ile verilen denklem sistemine kromatik değerler uygulandığında doğruluğu olmayan sonuçlar yani negatif güç yoğunluk değerleri elde edilir. Bu nedenle QLED-CSK sistemi herhangi bir anda üç LED kullanacak şekilde tasarlanmaktadır. Renk kanallarına ait güç yoğunlukları TLED-CSK denklem sistemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Singh ve ark., 2014). Tablo 1'de QLED 4-CSK ve QLED 8-CSK modülasyonlarına ait renk kanallarından iletilen işaretin güç yoğunluk değerleri verilmiştir (Singh ve ark., 2014).

**Tablo 1.** QLED 4-CSK ve QLED 8-CSK Modülasyonlarına ait renk kanallarının güç yoğunlukları.

	4-CSK	8-CSK
Semboller	(1 0 0 0)	(1 0 0 0)
	(0 1 0 0)	(0.5 0.5 0 0)
	(0 0 0 1)	(0 0.5 0.5 0)
	(0 0 1 0)	(0 1 0 0)
		(0.5 0 0 0.5)
		(0 0 0 1)
		(0 0 1 0)
		(0 0 0.5 0.5)

TLED-CSK sisteminde olduğu gibi QLED-CSK sisteminde de alıcı tarafta foto detektörler tarafından alınan optik sinyal elektriksel işarete dönüştürülür. Toplanır beyaz Gauss gürültülü (AWGN) kanal için alıcıda alınan işaret denklem (9) ile verilmiştir.

$$\begin{bmatrix} \hat{P}_i \\ \hat{P}_j \\ \hat{P}_k \\ \hat{P}_l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_i \\ P_j \\ P_k \\ P_l \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \eta_i \\ \eta_j \\ \eta_k \\ \eta_l \end{bmatrix} \quad (9)$$

Burada,  $\eta_i$ ,  $\eta_j$ ,  $\eta_k$  ve  $\eta_l$  her birinin varyansı  $\sigma^2$  olan beyaz gürültüdür. Alınan işaret  $\hat{\mathbf{s}} = [\hat{P}_i, \hat{P}_j, \hat{P}_k, \hat{P}_l]^T$ , dan denklem (10)' da verildiği gibi ML sezici kullanılarak sembol uzayında en küçük öklid mesafesine göre iletilen sembollere karar verilir.

$$\bar{s} = \underset{s_l \in A'}{\operatorname{argmin}} \|\hat{\mathbf{s}} - \mathbf{s}_l\|_2 \quad (10)$$

Burada  $A'$ , M seviyeli CSK sembollerinden oluşan kümeyi gösterir.

### 3. SER Analizi

Bu bölümde AWGN kanallarda QLED-CSK modülasyonunu kullanan VLC sistemleri için SER analizi yapılmıştır. M seviyeli işaret uzayında üretilen sembollerin eşit olasılıklı olduğu durumda tüm semboller arasındaki geçiş olasılıklarının toplandığı durumda SER ifadesi denklem (11) ile verilmiştir (Singh ve ark., 2014).

$$P_s = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^M Q \left( \sqrt{\frac{D(\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j)^2}{2N_0}} \right) \quad (11)$$

Burada  $D(\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j)$  terimi  $\mathbf{s}_i$  sembolü ile  $\mathbf{s}_j$  sembolü arasındaki öklid uzaklığını gösterir ve denklem (12) ile hesaplanır.

$$D = \|\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j\|_2 \quad (12)$$

Denklem (11)' de  $N_0$ , AWGN gürültünün tek yanlı güç spektral yoğunluğudur. SER analizinde bir sembolün diğer semboller ile arasındaki en küçük öklid mesafesine göre değerlendirme yapıldığında denklem (11)

$$P_s = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \left\{ N_{n,i} Q \left( \sqrt{\frac{d_{min}^2}{2N_0}} \right) \right\} \quad (13)$$

şeklinde elde edilir (Singh ve ark., 2014). Burada  $N_{n,i}$  i. sembole en yakın komşu sembollerin sayısına karşılık gelir. Denklem (13) kullanılarak QLED-CSK yapısı için 4-CSK, 8-CSK ve 16-CSK için elde edilen sembol hata olasılıkları sırasıyla aşağıda denklem (14), (15) ve (16) ile verilmiştir.

$$P_s = 3 \times Q \left( \frac{1}{\sqrt{N_0}} \right) \quad (14)$$

$$P_s = 3 \times Q \left( \frac{1}{\sqrt{4N_0}} \right) \quad (15)$$

$$P_s = \frac{1}{2} \times Q \left( \frac{0.47}{\sqrt{2N_0}} \right) + \frac{1}{16} \times Q \left( \frac{0.46}{\sqrt{2N_0}} \right) + \frac{3}{16} \times Q \left( \frac{0.45}{\sqrt{2N_0}} \right) + \frac{1}{8} \times Q \left( \frac{0.44}{\sqrt{2N_0}} \right) + \frac{1}{8} \times Q \left( \frac{0.43}{\sqrt{2N_0}} \right) + \frac{1}{8} \times Q \left( \frac{0.42}{\sqrt{2N_0}} \right) + \frac{1}{8} \times Q \left( \frac{0.41}{\sqrt{2N_0}} \right) \quad (16)$$

Modülasyon derecesi arttıkça semboller arasındaki öklid uzaklıkları azalacağından denklem (13) kullanılarak elde edilen sonuçlardaki hata artacaktır. Örneğin 8-CSK ve 16-CSK modülasyonlarına ait semboller arasındaki öklid uzaklıkları aşağıda Tablo 2 ve Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 2.** 8-CSK için sembollere ait güç yoğunluk değerleri kullanılarak elde edilen öklid mesafeleri.

	$\mathbf{s}_0$	$\mathbf{s}_1$	$\mathbf{s}_2$	$\mathbf{s}_3$	$\mathbf{s}_4$	$\mathbf{s}_5$	$\mathbf{s}_6$	$\mathbf{s}_7$
$\mathbf{s}_0$	0	0.71	1.22	1.41	0.71	1.41	1.41	1.22
$\mathbf{s}_1$	0.71	0	0.71	0.71	0.71	1.22	1.22	1.0
$\mathbf{s}_2$	1.22	0.71	0	0.71	1.0	1.22	0.71	0.71
$\mathbf{s}_3$	1.41	0.71	0.71	0	1.22	1.41	1.41	1.22
$\mathbf{s}_4$	0.71	0.71	1.0	1.22	0	0.71	1.22	0.71
$\mathbf{s}_5$	1.41	1.22	1.22	1.41	0.71	0	1.41	0.71
$\mathbf{s}_6$	1.41	1.22	0.71	1.41	1.22	1.41	0	0.71
$\mathbf{s}_7$	1.22	1.0	0.71	1.22	0.71	0.71	0.71	0

**Tablo 3.** 16-CSK için sembollere ait güç yoğunluk değerleri kullanılarak elde edilen öklid mesafeleri.

	$s_0$	$s_1$	$s_2$	$s_3$	$s_4$	$s_5$	$s_6$	$s_7$	$s_8$	$s_9$	$s_{10}$	$s_{11}$	$s_{12}$	$s_{13}$	$s_{14}$	$s_{15}$
$s_0$	0	0.47	1.41	0.94	0.47	0.76	1.25	0.84	1.41	1.25	1.41	1.25	0.94	0.87	1.25	1.16
$s_1$	0.47	0	0.94	0.47	0.47	0.41	0.82	0.52	1.25	1.05	1.25	1.05	0.82	0.71	0.94	0.80
$s_2$	1.41	0.94	0	0.47	1.25	0.83	0.47	0.87	1.41	1.25	1.41	1.25	1.25	1.16	0.94	0.74
$s_3$	0.94	0.47	0.47	0	0.82	0.45	0.47	0.54	1.25	1.05	1.25	1.05	0.94	0.83	0.82	0.61
$s_4$	0.47	0.47	1.25	0.82	0	0.44	1.05	0.68	0.94	0.82	1.25	0.94	0.47	0.51	1.05	0.82
$s_5$	0.76	0.41	0.83	0.45	0.44	0	0.68	0.49	0.86	0.70	1.16	0.83	0.49	0.48	0.82	0.47
$s_6$	1.25	0.82	0.47	0.47	1.05	0.68	0	0.50	1.25	0.94	0.94	0.82	1.05	0.81	0.47	0.45
$s_7$	0.84	0.52	0.87	0.54	0.68	0.49	0.50	0	1.16	0.80	0.75	0.61	0.82	0.47	0.43	0.50
$s_8$	1.41	1.25	1.41	1.25	0.94	0.86	1.25	1.16	0	0.47	1.41	0.94	0.47	0.78	1.25	0.80
$s_9$	1.25	1.05	1.25	1.05	0.81	0.70	0.94	0.80	0.47	0	0.94	0.47	0.47	0.42	0.82	0.51
$s_{10}$	1.41	1.25	1.41	1.25	1.25	1.16	0.94	0.75	1.41	0.94	0	0.47	1.25	0.81	0.47	0.91
$s_{11}$	1.25	1.05	1.25	1.05	0.94	0.83	0.82	0.61	0.94	0.47	0.47	0	0.82	0.44	0.47	0.57
$s_{12}$	0.94	0.82	1.25	0.94	0.47	0.49	1.05	0.82	0.47	0.47	1.25	0.82	0	0.46	1.05	0.66
$s_{13}$	0.87	0.71	1.16	0.83	0.51	0.48	0.81	0.47	0.78	0.42	0.81	0.44	0.46	0	0.66	0.50
$s_{14}$	1.25	0.94	0.94	0.82	1.05	0.82	0.47	0.43	1.25	0.82	0.47	0.47	1.05	0.66	0	0.54
$s_{15}$	1.16	0.80	0.74	0.61	0.82	0.47	0.45	0.50	0.80	0.51	0.91	0.57	0.66	0.50	0.54	0

Tablo 3' de verilen semboller arasındaki öklid uzaklıkları incelendiğinde örneğin  $s_{13}$  sembolüne en yakın uzaklıkta olan sembolün  $s_9$  sembolü olduğu görülmektedir ve semboller arasındaki öklid mesafesi 0.42'dir.  $s_{13}$  sembolünün  $s_{11}$  sembolü ile arasındaki öklid mesafesi ise 0.44 olduğu görülmektedir. Bu mesafelerin yaklaşık aynı olduğu kabul edilebilir. En küçük öklid mesafesine göre değerlendirme yapıldığında  $s_{11}$  sembolünün hata üzerindeki etkisi ihmal edilecektir. Daha açıklayıcı olması açısından  $E_b/N_0 = 10dB$  değeri için bu ikili semboller arasındaki hata olasılıkları sırasıyla  $5e - 04$  ve  $4e - 04$  olarak hesaplanmaktadır. Bu nedenle SER analizi semboller arasındaki en küçük öklid uzaklığına göre yapıldığında birbirlerine yakın mesafedeki sembollerden kaynaklanan hatalar ihmal edileceğinden analitik modelin doğruluğu azalacaktır. Bu değerlendirmeler doğrultusunda QLED-CSK yapısı için 4-CSK, 8-CSK ve 16-CSK için sembol hata olasılıkları tekrar hesaplandığında türetilen analitik modeller sırasıyla denklem (17), (18) ve (19) ile verilmiştir.

$$P_s = 3 \times Q\left(\frac{1}{\sqrt{N_0}}\right) \quad (17)$$

$$P_s = 3 \times Q\left(\frac{1}{\sqrt{4N_0}}\right) + 0.5 \times Q\left(\frac{1}{\sqrt{2N_0}}\right) + 2 \times Q\left(\frac{1.2}{\sqrt{2N_0}}\right) \quad (18)$$

$$P_s = \frac{3}{8} \times Q\left(\frac{0.5}{\sqrt{2N_0}}\right) + \frac{1}{4} \times Q\left(\frac{0.49}{\sqrt{2N_0}}\right) + \frac{1}{8} \times Q\left(\frac{0.48}{\sqrt{2N_0}}\right) + \frac{9}{4} \times Q\left(\frac{0.47}{\sqrt{2N_0}}\right) + \frac{1}{8} \times Q\left(\frac{0.46}{\sqrt{2N_0}}\right) + \frac{1}{4} \times Q\left(\frac{0.45}{\sqrt{2N_0}}\right) + \frac{1}{4} \times Q\left(\frac{0.44}{\sqrt{2N_0}}\right) + \frac{1}{8} \times Q\left(\frac{0.43}{\sqrt{2N_0}}\right) + \frac{1}{8} \times Q\left(\frac{0.42}{\sqrt{2N_0}}\right) + \frac{1}{8} \times Q\left(\frac{0.41}{\sqrt{2N_0}}\right) \quad (19)$$

Türetilen analitik modellerin ve en küçük öklid mesafesine göre elde edilen analitik modellerin işlem karmaşıklığı açısından değerlendirildiğinde türetilen analitik modellerdeki işlem karmaşasının

modülasyon derecesi ile arttığı görülmektedir. Elde edilen modeller incelendiğinde Q-fonksiyonun hesaplanması gerektiği görülmektedir. Bunun için (Chiani ve ark., 2003) çalışmasındaki Q-fonksiyonunun (20) ile verilen yaklaşımı kullanılmıştır.

$$Q(\sqrt{x}) = \frac{1}{12} \exp^{-\frac{x}{2}} + \frac{1}{4} \exp^{-\frac{2}{3}x} \quad (20)$$

(20) ifadesi incelendiğinde yapısında üstel fonksiyonu içerdiği görülmektedir. Üstel fonksiyonlar, modern iletişim ve sinyal işlemede çok önemli bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, yüksek hassasiyetli kayan noktalı üstel fonksiyonların donanım algoritması gerçekleştirilmektedir (Zou ve ark., 2019). Bundan dolayı yaklaşık modeldeki üstel fonksiyon bir işlem olarak değerlendirilmiştir. Aşağıda sırasıyla Tablo 4, Tablo 5 ve Tablo 6'da 4-CSK, 8-CSK ve 16-CSK modülasyonuna ait elde edilen işlem karmaşıklıkları verilmiştir.

**Tablo 4.** 4-CSK modülasyonuna ait işlem karmaşıklığı

İşlem türü	En küçük öklid mesafesine göre	Önerilen yaklaşım
Toplama	1	1
Çarpma	5	5
exp (.)	2	2

**Tablo 5.** 8-CSK modülasyonuna ait işlem karmaşıklığı

İşlem türü	En küçük öklid mesafesine göre	Önerilen yaklaşım
Toplama	1	3
Çarpma	6	18
exp (.)	2	6

**Tablo 6.** 16-CSK modülasyonuna ait işlem karmaşıklığı

İşlem türü	En küçük öklid mesafesine göre	Önerilen yaklaşım
Toplama	7	10
Çarpma	42	60
exp (.)	14	20

BER sonuçları ise modülasyon türleri için elde edilen sembol hata olasılıklarının denklem (21) ile verildiği gibi her bir sembolün taşıdığı bit sayısına oranı ile hesaplanmıştır (Singh ve ark., 2014).

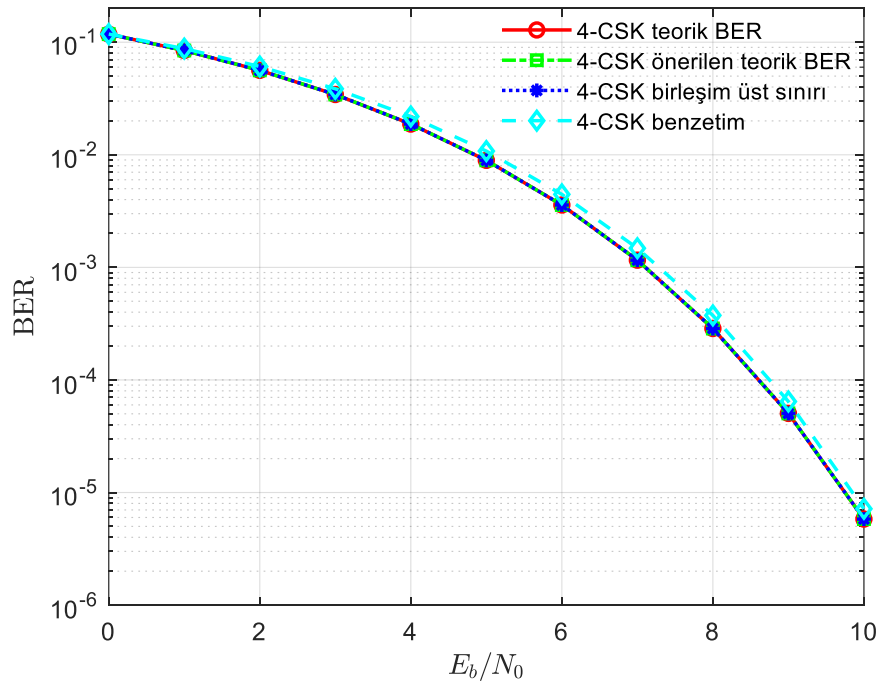
$$P_b = \frac{P_s}{\log_2 M} \quad (21)$$

#### 4. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde QLED-CSK kullanılan VLC sistemlerinde 4-CSK, 8-CSK ve 16-CSK modülasyonları için elde edilen teorik ve benzetim sonuçları verilmiştir. Benzetim sonuçları AWGN kanallar için, 3000 Monte Carlo döngüsü üzerinden iletilen her bir pakette 2000 sembol kullanılarak elde edilmiştir. Sonuç olarak her bir SNR seviyesindeki BER değerini elde etmek için toplam  $6 \times 10^6$  sembol kullanılmıştır. Verilen sonuçlar incelendiğinde modülasyon derecesi arttıkça yani sembol uzayında semboller arasındaki öklid mesafeleri azaldıkça en küçük öklid uzaklığına göre hata analizi yapmanın doğruluğu azalttığı görülmektedir. Çünkü en küçük öklid mesafesine yakın noktadaki sembollerden kaynaklanan hatalar ihmal edilmektedir. Şekil 2’de 4-CSK modülasyonuna ait sonuçlar görülmektedir. Beklendiği gibi teorik sonuçlardaki başarımın aynı olduğu görülmektedir. Çünkü Tablo 7 ‘de verildiği gibi 4-CSK modülasyonunda sembol uzayında tüm semboller arasındaki öklid mesafeleri aynıdır. Aynı zamanda benzetim sonuçları ile teorik sonuçların da uyumlu olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.** 4-CSK için sembollere ait güç yoğunluk değerleri kullanılarak elde edilen öklid mesafeleri.

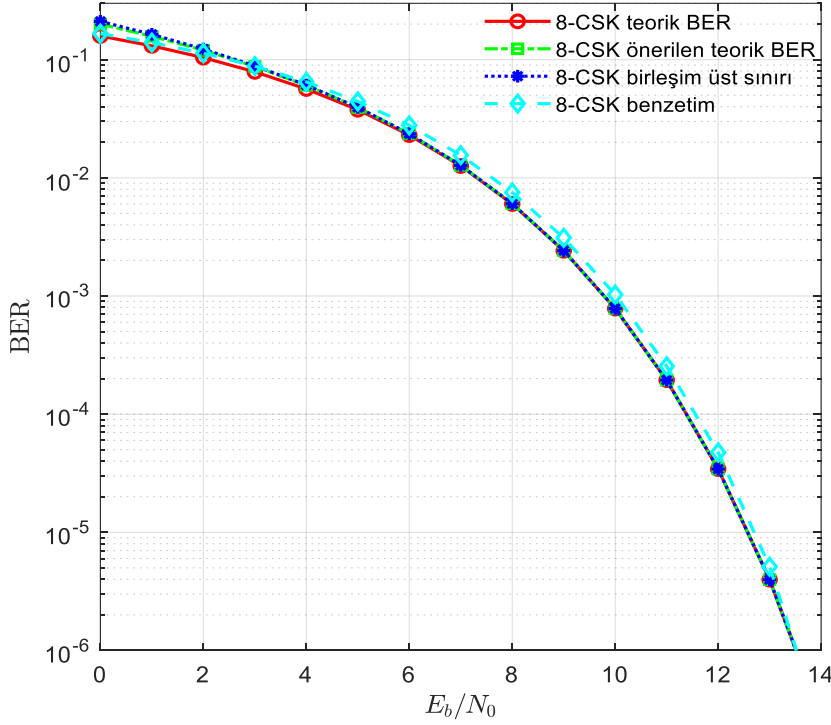
	$s_0$	$s_1$	$s_2$	$s_3$
$s_0$	0	1.4142	1.4142	1.4142
$s_1$	1.4142	0	1.4142	1.4142
$s_2$	1.4142	1.4142	0	1.4142
$s_3$	1.4142	1.4142	1.4142	0



**Şekil 2.** 4-CSK modülasyonu için BER sonuçları

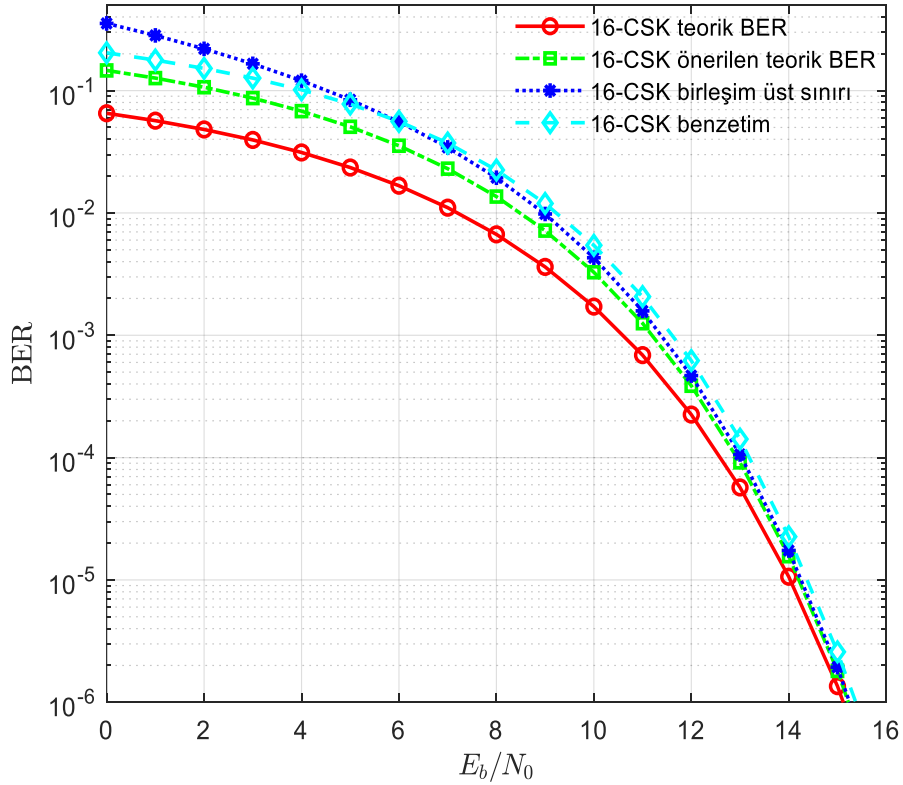


Şekil 3’de 8-CSK modülasyonuna ait sonuçlar verilmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi işaret uzayında sembol sayısının artması sonucunda en küçük hata mesafesine göre hata analizi yapıldığında yapılan hatanın arttığı görülmektedir. Önerilen teorik modelin sonuçlarının birleşim üst sınırı sonuçları ile uyumlu olduğu ve doğruluğun daha yüksek olduğu görülmektedir. Benzetim sonuçlarının da teorik sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 3. 8-CSK modülasyonu için BER sonuçları

Şekil 4’de ise 16-CSK modülasyonuna ait sonuçlar verilmiştir. 8-CSK modülasyonunda olduğu gibi sembol uzayındaki sembol sayısının artmasından dolayı en küçük öklid mesafesine göre hata analizi yapıldığında hatanın arttığı görülmektedir. Önerilen teorik yaklaşımda öklid mesafesi yakınındaki sembollerin de hata üzerinde etkisi dikkate alındığından doğruluğun daha yüksek olduğu görülmektedir. Örneğin  $1e - 4$  BER seviyesinde en küçük öklid mesafesine göre yapılan analizin ve önerilen analitik modelin birleşim üst sınırı ile arasında yaklaşık olarak sırasıyla 0.43 dB ve 0.07 dB’lik bir hata oluşmaktadır. Bu sonuçlar da önerilen modelin doğruluğunu göstermektedir. 4-CSK ve 8-CSK modülasyonlarında olduğu gibi önerilen yaklaşım ve benzetim sonuçlarının birleşim üst sınırı sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir. Verilen sonuçlardan yüksek SNR değerlerinde benzetim ve teorik sonuçların tamamen uyumlu olduğu görülmektedir. Düşük SNR değerlerinde ise her bir veri paketinde iletilen sembol sayısı ve Monte Carlo döngü sayısı artırılarak benzetim ve teorik sonuçlar arasındaki uyum artırılabilir.



Şekil 4. 16-CSK modülasyonu için BER sonuçları

## 5. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada QLED-CSK sistemi için 4-CSK, 8-CSK ve 16-CSK modülasyonları için analitik olarak SER analizleri yapılmış ve modeller türetilmiştir. Türetilen analitik modeller birleşim üst sınırı ve benzetim sonuçları ile uyum göstermiştir. Önerilen yaklaşımda sembol uzayında birbirlerine çok yakın olan sembollerin hata üzerindeki etkisi dahil edildiğinden türetilen modellerin doğruluğu en küçük öklid mesafesine göre yapılan analizlere göre daha yüksektir. Örneğin 16-CSK modülasyonu için  $10^{-4}$  BER seviyesinde en küçük öklid mesafesine göre değerlendirilmenin ve önerilen analitik modelin birleşim üst sınırı ile arasında yaklaşık olarak sırasıyla 0.43 dB ve 0.07 dB'lik bir hata oluşmaktadır. Sonuç olarak, analitik modellerin birleşim üst sınırına uzaklıkları bir başarımlı ölçütü olarak kabul edildiğinde en küçük öklid mesafesine göre değerlendirme yapıldığında birleşim üst sınırına olan uzaklık 0.43 dB'dir. Önerilen modelin ise birleşim üst sınırına olan uzaklığı 0.047 dB'dir. Bu sonuçlardan da önerilen modelin doğruluğunun daha yüksek olduğu görülmektedir.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

**Kaynaklar**

- Shannon, C., E. (1949). Communication in the Presence of Noise. *Proceedings of the IRE*, 37(1), 10 – 21.
- Zukauskas, A., Vaicekauskas, R., Tuzikas, A., Petrulis, A., Stanikūnas, R., Svegzda, A., Eidikas, P. & Vitta, P. (2014). Firelight LED source: Toward a balanced approach to the performance of solid-state lighting for outdoor environments. *IEEE Photonics Journal*, 6(3).
- Han, D., Lee, K. & Lee, K. (2015). Transmitting scalable video coding using VLC with color and dimming control to assure QoS. *Information Systems*, 48, 267-273.
- Chow, C., W., Yeh, C., H., Liu, Y., F. & Liu Y. (2011). Improved modulation speed of led visible light communication system integrated to main electricity network. *Electronics Letters*, 47(15), 867-868.
- Jia, L., Wang, J. Y., Zhang, W., Chen, M. & Wang, J. B. (2015). Symbol error rate analysis for colour-shift keying modulation in visible light communication system with RGB light-emitting diodes. *IET optoelectronics*, 9(5), 199-206.
- IEEE VLC Standard. (2011). IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks–Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light. *IEEE Std 802.15.7-2011*, 1-309.
- Butala, P., M., Chau, J., C. & Little, T., D., C. (2012). Metameric modulation for diffuse visible light communications with constant ambient lighting. International Workshop on Optical Wireless Communications (IWOW) (pp. 1-3).
- Singh, R., O’Farrell, T. & David, J. P. R. (2014). An enhanced color shift keying modulation scheme for high-speed wireless visible light communications. *Journal of Lightwave Technology*, 32(14), 2582-2592.
- Ohno, Y. (2005). Spectral design considerations for white led color rendering. *Optical Engineering*, 44(11), 111302-1-111302-9.
- Singh, R., O’Farrell, T. & David, J. P. R. (2015). Analysis of Forward Error Correction Schemes for Colour Shift Keying Modulation. Personal, Indoor, and Mobile Communications (PIMRC).
- Tuğcu, E., Albayrak, C., Yazgan, A, Şimşek, C. & Türk, K. (2018, Mayıs). Bit error rate analysis for color shift keying modulation. *26th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference, SIU 2018* (s. 1-4). İzmir, Türkiye.
- Chiani, M., Dardari, D., & Simon, M. K. (2003). New exponential bounds and approximations for the computation of error probability in fading channels. *IEEE Trans. Wireless Commun.*, 2, 840-845.
- Zou, X. & Wang, M. (2019). Algorithm Research and Hardware Implementation of High Precision Floating Point Exponential Function. *Journal of Physics: Conference Series*, 1345(4), 042085.

## Araçlar Arası (V2V) Haberleşmede Dağlık Anayollarda Yol Kaybı ve Gölgeleme Analizi

Zeynep HASIRCI TUĞCU<sup>1\*</sup>, Kenan KUZULUGİL<sup>2</sup>

### Öz

Araçlar arası (V2V) haberleşme, karayolu sürüş güvenliği ve kaza önleme açısından önemli bir teknoloji olarak görülmektedir. Ancak, araçlar arasına giren binalar, diğer araçlar ve ağaçlar gibi çevresel engeller V2V haberleşmeyi olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, virajlı dağlık anayol ortamlarında, verici ve alıcı araçlar arasındaki iletişimi engelleyen dağlık alanların etkisi incelenmiş ve 5.9 GHz’de V2V ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen veriler, engel senaryolarında yaygın kullanılan log-normal ve çift eğimli yol kaybı modelleriyle modellenmiş ve verilere uyum performansları açısından karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, dağ engeli bulunan senaryolarda çift eğimli yol kaybı modelinin daha iyi bir uyum sağladığını göstermektedir. Ayrıca, dağ engelini neden olduğu gölgeleme ve zayıflatma etkileri incelenmiş, dağ engeli kaynaklı ortalama zayıflamanın 19.6 dB olduğu tespit edilmiş ve literatüre ilk kez bu çalışma ile kazandırılmıştır. Bu bulgular, sistem tasarımcıları ve araştırmacılarına çevresel faktörlerin V2V iletişim performansına etkisinin detaylandırılmasında ve sistemlerin buna göre optimize edilip tasarlanmasında katkı sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** V2V, Araçlar arası haberleşme, Gölgeleme, Zayıflatma, Yol kaybı, Dağ engeli.

## Path Loss and Shadowing Analysis in Vehicle-to-Vehicle (V2V) Communication on Mountainous Roads

### Abstract

Vehicle-to-Vehicle (V2V) communication is recognized as a crucial technology in the context of road safety and accident prevention. However, environmental obstacles such as buildings, other vehicles, and trees can adversely affect V2V communication. This study investigates the impact of a mountainous obstacle between transmitter and receiver vehicles in curved highway environments, conducting V2V measurements at 5.9 GHz. The measured data is modeled using log-normal and dual-slope path loss models commonly used in obstacle scenarios, and their fitting performances are compared. The results indicate that the dual-slope path loss model provides a better fit in scenarios with mountainous obstacles. Additionally, the shadowing and attenuation effects caused by the mountain obstacle are examined, revealing an average attenuation of 19.6 dB attributed to the mountain obstacle, a contribution introduced for the first time in the literature through this study. These findings will contribute to system designers and researchers by detailing the impact of environmental factors on V2V communication performance and assisting in the optimization and design of systems accordingly.

**Keywords:** V2V, Vehicle-to-Vehicle communication, Shadowing, Attenuation, Path loss, Mountainous obstacle.

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Trabzon, Türkiye, [zhasirci@ktu.edu.tr](mailto:zhasirci@ktu.edu.tr)

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, [kenankuzulugil@gumushane.edu.tr](mailto:kenankuzulugil@gumushane.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 24.02.2024

Kabul/Accepted: 15.05.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Akıllı ulaşım sistemlerinin önemli bir bileşeni olan ve tahsis edilmiş kısa mesafeli haberleşme (DSRC) kullanarak gerçekleştirilen araçlar arası (V2V) haberleşmenin temel amaçlarından biri, trafikte oluşabilecek kazaların riskini azaltmak ve genel olarak karayolu güvenliğini artırmaktır. V2V'deki iletişim kapasitesi ise araçlar arası kurulacak olan bağlantı kalitesine bağlıdır. V2V haberleşmesinde, araçlar arasındaki bağlantının kalitesi, araçlardaki antenlerin alçak konumda olması nedeniyle trafikteki diğer araçlar, binalar, ağaçlar ve çeşitli engellerden etkilenmekte ve haberleşme bozulabilmektedir. Bu nedenle her türlü trafik ortamında ve farklı senaryolarda, araçlar arasına girecek engel farklılıklarının da gözetilerek V2V haberleşme kanalının gerçek ölçümlere dayalı analiz edilip modellenmesi gerekmektedir.

Literatürde V2V haberleşmesi için birçok mevcut performans analizi çalışması olup genellikle araç ve bina engeli gibi faktörlerden kaynaklanan gölgelemenin etkisi incelenmiştir. Bu amaçla deneysel ölçümler alınmış, yol kaybı ve gölgeleme modellenmesi yapılmış ve özellikle araç engelinin sebep olduğu zayıflatmalar bulgu olarak sunulmuştur. V2V haberleşmesinde bina veya araç engeli kaynaklı etkilerin incelendiği çalışmalarda yayılım modelleri genellikle log-normal ve çift eğimli (*dual-slope*) yol kaybı modelleri ile gerçekleştirilmiştir. Bu modellerde yol kaybı üssü ( $n$ ), referans mesafe ( $d_0$ ), referans mesafedeki yol kaybı ( $PL_{d0}$ ) ve gölgelemenin modellendiği Gaussian dağılımının standart sapması ( $\sigma$ ) parametreleri ölçüm verilerinden kestirilerek elde edilmiştir. Sonuçlar verilirken verici (Tx) ve alıcı (Rx) arasındaki direkt görüş hattı için LOS (*line of sight*), araya giren araçlardan dolayı engellenen hatlar için OLOS (*Obstructed LOS*) veya NLOSv (*LOS obstructed by vehicle*) ve bina gibi engellerden dolayı direkt görüş olmayan hatlar için ise NLOS (*non line of sight*) kısaltmaları kullanılmıştır.

Verici ve alıcı araç arasına başka araçların girmesi sonucu alınan sinyal gücünün değişim oranı farklı çalışmalarda farklı boyut ve tipteki araçlar için incelenmiştir. 10 metre mesafede haberleşen Tx ve Rx araç arasına giren bir başka aracın alınan sinyal gücünü yaklaşık 20 dB zayıflattığı ve daha uzak mesafelerde ise etkin haberleşme mesafesinin yarıya düştüğü ortaya konulmuştur (Meireles ve ark., 2010). Diğer bir çalışmada bir okul otobüsü Tx ve Rx araç arasına sabit olarak park edilmiş, Tx otobüsten 0.1 ve 50 m olmak üzere farklı iki uzaklıkta park edilirken Rx otobüsün diğer tarafında hareketli olacak şekilde ölçümler alınmıştır. Alınan ölçümler çift eğimli yol kaybı modeli ile modellenmiş ve  $n_1$  parametresinin 1.9-2.18 arasında,  $n_2$  parametresinin 3.82-4.02 arasında,  $\sigma$  değerinin 2.86-3.5 dB arasında değiştiği tespit edilmiş, otobüs kaynaklı ilave zayıflama değeri ise yaklaşık 15-20 dB olarak hesaplanmıştır (He ve ark., 2014). Küçük ve büyük boyutlu bir aracın Tx ve Rx araçlar arasına girdiği ortamda yapılan ölçümlerde küçük aracın ortalama yol kaybını çok değiştirmedeği, en fazla 7 dB olmak üzere ortalama 3 dB zayıflatmaya sebep olduğu; büyük aracın

ise yaklaşık 10 dB ilave zayıflatmaya sebep olduğu bulunmuştur. Ayrıca log-normal yol kaybı modellenmesi yapılmış ve  $n=1.51$ ,  $PL_{d0}=58$  dB,  $\sigma=2.83$  dB olarak elde edilmiştir (Yang ve ark., 2018). Başka bir çalışmada ise anayol ortamında araya giren araçların ortalama 9.2 dB zayıflatmaya sebep olduğu ortaya konulmuştur (Boban ve ark., 2011). Kırsal ve anayol ortamlarda LOS ve OLOS (arada tır varken) durumlar için farklı anten konumlarına göre ölçümlerin yapıldığı çalışmada log-normal model parametreleri kırsal için  $n=1.65$ ,  $PL_{d0}=72.3$  dB,  $\sigma=3.9$  dB olarak, anayol için ise  $n=1.6$ ,  $PL_{d0}=72.6$  dB,  $\sigma=4.4$  dB olarak hesaplanmıştır. Ayrıca Tx ve Rx arasına engel olarak giren tırın alınan gücü ortalama 12-13 dB zayıflattığı rapor edilmiştir (Vlastaras ve ark., 2014). Kent ve anayol ortamında yapılan ölçümlere dayalı bir gölgeleme sönümlenme modeli önerilen çalışmada, alınan sinyal gücünün araya giren araçlardan dolayı ortalama 10 dB zayıfladığı sonucuna varılmıştır. Veriler çift eğimli yol kaybı modeli ile modellenmiş ve yayılım parametreleri anayol ortamında LOS için  $n_1=1.66$ ,  $n_2=2.88$ ,  $PL_{d0}=66.1$  dB ve  $\sigma=3.95$  dB bulunurken OLOS için  $n_1$  değeri hesaplanamamış,  $n_2=3.18$ ,  $PL_{d0}=76.1$  dB ve  $\sigma=6.12$  dB olarak verilmiştir. Kent ortamı için ise bu değerler ise LOS durumunda  $n_1=1.81$ ,  $n_2=2.85$ ,  $PL_{d0}=63.9$  dB ve  $\sigma=4.15$  dB iken OLOS durumunda  $n_1=1.93$ ,  $n_2=2.74$ ,  $PL_{d0}=72.1$  dB ve  $\sigma=6.67$  dB olarak hesaplanmıştır (Abbas ve ark., 2015). Kent kavşağında yapılan bir diğer ölçüm çalışmasında Tx ve R-x araç arasına başka bir aracın girmesi ve Rx'e paralel giden bir otobüsten yansıyan ışının etkisinin analizi yapılmış ve sonuç olarak araya giren aracın yaklaşık 10 dB zayıflatmaya sebep olduğu ve otobüsten yansıyan güçlü ışının kanal kazancını yaklaşık 5 dB artırdığı gözlemlenmiştir (Shu ve ark., 2018). Üç farklı kent kavşağında birbiriyle kesişen yollarda yapılan ölçümlerde Tx ve Rx araç arasında binalar başta olmak üzere, park etmiş araçlar, trafik işaretleri, elektrik direkleri ve ağaçlar gibi engeller mevcutken elde edilen sonuçlar araya engel girmeyen kent ortamındaki ölçümlerle kıyaslanmıştır. Engelsiz kent ortamı ölçümünün  $n$  değeri log-normal modelleme ile 1.55 olarak bulunurken kavşaklar için kritik mesafenin önerilen bir metotla bulunduğu çift eğimli yol kaybı modeli kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda üç kavşak için  $n_1$  değerleri sırasıyla 1.54, 1.56 ve 1.53 olarak,  $n_2$  değerleri ise 3.96, 5.34 ve 4.86 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca  $\sigma$  değeri ölçümlerin LOS kısmı için 3.64 dB, NLOS kısımları için ise 4.81 dB olarak bulunmuştur (Yang ve ark., 2023). Son olarak yapılan bir diğer çalışmada genellikle NLOS'un NLOSv'den 20 dB daha fazla yol kaybına sebep olduğu, bunun da yayalar ve arabalar gibi dinamik engellere kıyasla binalar veya bitki örtüsü gibi statik/çevresel engellerin alınan sinyal gücü üzerinde çok daha güçlü zayıflama etkisi gösterdiği bulgusu vurgulanmıştır (Giordani ve ark., 2019).

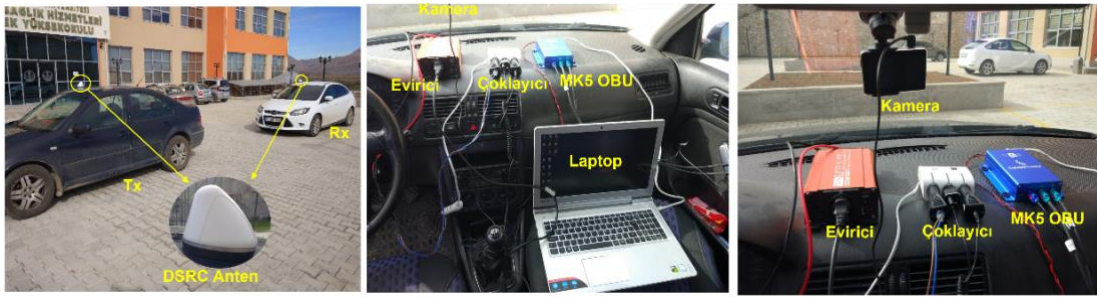
Yapılan mevcut çalışmalarda, genellikle Tx ve Rx araçlar arasına araç ve bina gibi engellerin girdiği farklı ortam ve senaryolarda ölçümler ve modellemeler gerçekleştirilmiş, virajlarda araya dağ eteğinin engel olarak girmesi durumu ise bildiğimiz kadarıyla hiç ele alınmamıştır. Bu çalışmada mevcut literatürde eksik kalan bu araştırmayı yapmak adına Gümüşhane-Erzincan anayolunda farklı viraj senaryolarında V2V ölçümleri gerçekleştirilmiş, ölçümlerden elde edilen veriler engel

senaryolarında yaygın kullanılan log-normal ve çift eğimli yol kaybı modelleri ile modellenmiş, modellerin uyum performansları değerlendirilerek yol kaybı ve gölgeleme model parametreleri ( $n$ ,  $d_0$ ,  $PL_{d0}$  ve  $\sigma$ ) elde edilmiştir. Ayrıca, virajlarda araya giren dağ engelinin alınan sinyal gücünü zayıflatma oranı da engelsiz bir anayol ölçümüyle kıyaslanarak gösterilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Ölçüm Düzenegi

Ölçümlerde verici ve alıcı için benzer fiziksel ölçülere sahip iki farklı binek araç kullanılmış ve her bir araçta Şekil 1’de verildiği gibi aynı ekipmanlarla ölçüm düzenegi kurulmuştur.



Şekil 1. Ölçüm düzenegi ve kullanılan ekipmanlar

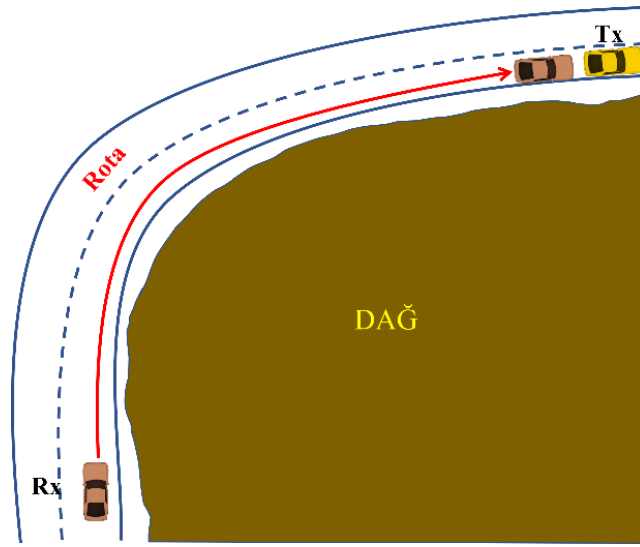
Teknik detayları Tablo 1’de verilen ölçüm düzeneginde, araçların 5.9 GHz’de V2V haberleşme standartlarına uygun olarak birbirleriyle haberleşmesi için Cohda Wireless firmasının MK5 OBU (Cohda Wireless, 2018) cihazları kullanılmıştır. Bu cihazlara gerekli komutların gönderilebilmesi için laptoplar kullanılmış, ölçüm verilerinin detaylı analizine yardımcı olması için ise ölçümler araç içi kameralarla kaydedilmiştir. Laptopları beslemek için 12V/220V eviriciler kullanılırken, diğer ekipmanların çakmaktan beslenebilmesi için çakmak çoklayıcılar kullanılmıştır. Araçların tavanına yerleştirilen (tabanı mıknatıslı) antenler iki adet 5.9 GHz çok yönlü (*omnidirectional*) DSRC anteni ve bir adet GNSS anteni içermektedir.

Tablo 1. Ölçüm düzenegi teknik detayları

Özellik	Değer
Taşıyıcı frekansı	5.9 GHz
Bant genişliği	10 MHz
Araç hızları	~50 km/h
Verici gücü	+22 dBm
Alıcı hassasiyeti	3 Mbps’de -99 dBm
Tx, Rx anten kazancı	3 dB
Konumlandırma	GNSS, 2.5 m doğruluk

## 2.2. Ölçüm Senaryoları

Ölçümler Gümüşhane-Erzincan anayolunun arada dağ engeli bulunan dört farklı konumundaki virajlarda gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Tx aracı sabit olarak konumlandırılırken, Rx aracı Şekil 2’deki virajlı anayol senaryosunda gösterildiği gibi Tx aracına doğru hareket etmiş ve tüm ölçümler yolun trafik açısından az yoğunlukta olduğu zamanlarda gerçekleştirilmiştir. Böylelikle ölçümlerde araçlar arasındaki tek engel dağ engeli olmuştur. Tx aracının sabit konumu ve Rx aracının başlangıç konumu ile her bir senaryodaki Tx-Rx maksimum ölçüm mesafeleri Tablo 2’de verilmiştir.



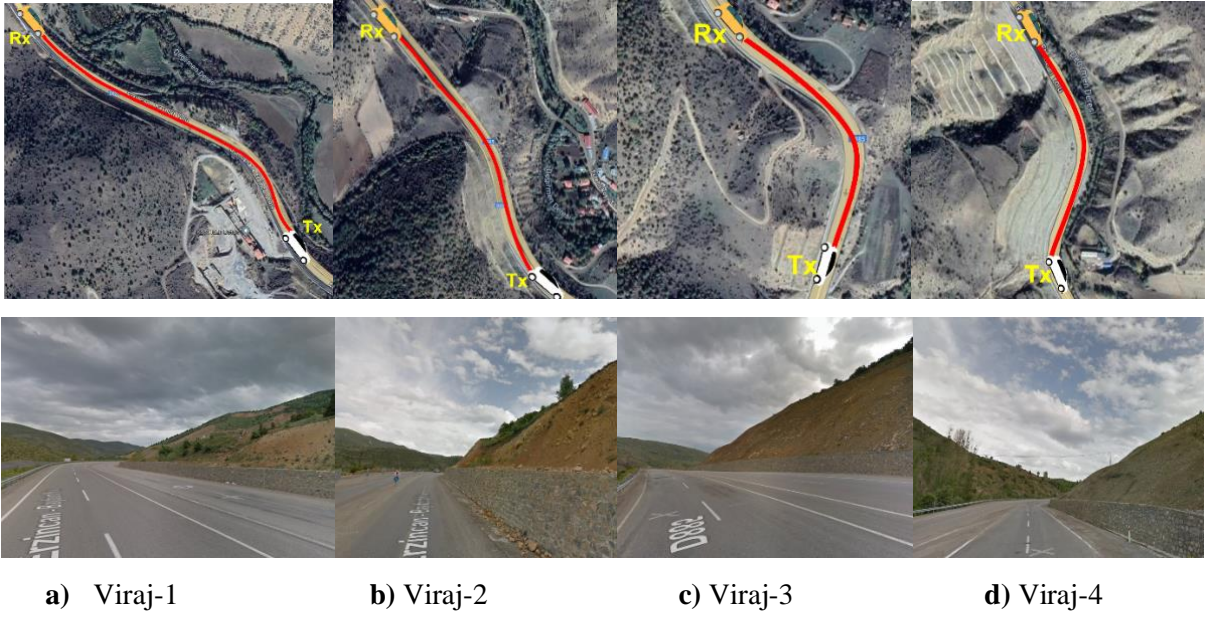
Şekil 2. Viraj senaryolarının gösterimi

Tablo 2. Ölçüm senaryoları ve konumları

Senaryo	Enlem – Boylam (Tx – Rx)	Tx-Rx mesafesi
Viraj-1	40.088251, 39.476169 – 40.092706, 39.469367	727 m
Viraj-2	40.073972, 39.495057 – 40.074102, 39.494906	464 m
Viraj-3	40.071010, 39.496496 – 40.073964, 39.495065	349 m
Viraj-4	40.060707, 39.497941 – 40.065022, 39.497646	478 m

Şekil 3’te ölçümlerin yapıldığı ortamların uydu ve sokak görüntüleri, Tx-Rx araçlarının konumları ve Rx aracının izlediği rota (kırmızı çizgi) gösterilmiştir.





Şekil 3. Ölçüm ortamlarının uydu ve sokak görünümü

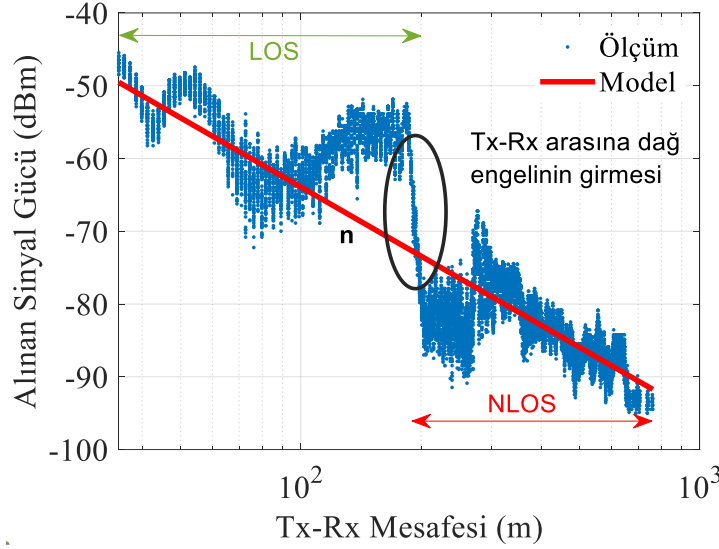
### 2.3. Yol Kaybı ve Gölgeleme Modelleme

Yol kaybı, vericiden iletilen güç ile alıcıda alınan güç arasındaki dB cinsinden sinyal zayıflaması olarak tanımlanmakta (Rappaport T.S., 2002) ve V2V haberleşme ölçümlerinin gerçekleştirildiği ortama ve ölçüm senaryolarına bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu nedenle literatürde her bir ortam ve farklı senaryolar için çeşitli modeller önerilmektedir. Bu çalışmada, V2V haberleşmedeki yaygın yol kaybı modellerinden log-normal ve çift eğimli yol kaybı modelleri kullanılmıştır.

Log-normal yol kaybı modelinde, (1)' de verildiği gibi yol kaybını modellemek için log-mesafe güç yasası kullanılır ve alınan ortalama sinyal gücü değeri Tx ve Rx arasındaki mesafenin üstel değişimiyle ifade edilir (Abbas ve ark., 2015; Turner ve ark., 2019).

$$PL(d) = PL_{d_0} + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma \quad (1)$$

Burada  $d$ , Tx ve Rx arasındaki mesafeyi (m),  $n$  lineer regresyon ile kestirilen yol kaybı üssünü,  $PL_{d_0}$  ve  $PL(d)$  sırasıyla Tx ile Rx arasındaki  $d_0$  referans mesafesindeki ve  $d$  mesafesindeki dB cinsinden yol kaybını gösterir.  $X_\sigma$  ise sıfır ortamlı ve  $\sigma$  standart sapmalı Gaussian dağılımının raslantı değişkenini temsil eden gölgeleme sönmüleme bileşenidir. Şekil 4'te örnek bir ölçüm verisindeki mesafeye göreye alınan sinyal gücü değerleri ve bu veri için gerçekleştirilen log-normal yol kaybı modellemesi görülmektedir. Bu modellemede Tx ve Rx araç arasında dağ engeli olmayan durumdan dağ engeli olan duruma geçiş yani LOS örüntüsünden NLOS örüntüsüne geçiş verisi ayrıştırılmadan bir bütün olarak modellenmektedir.

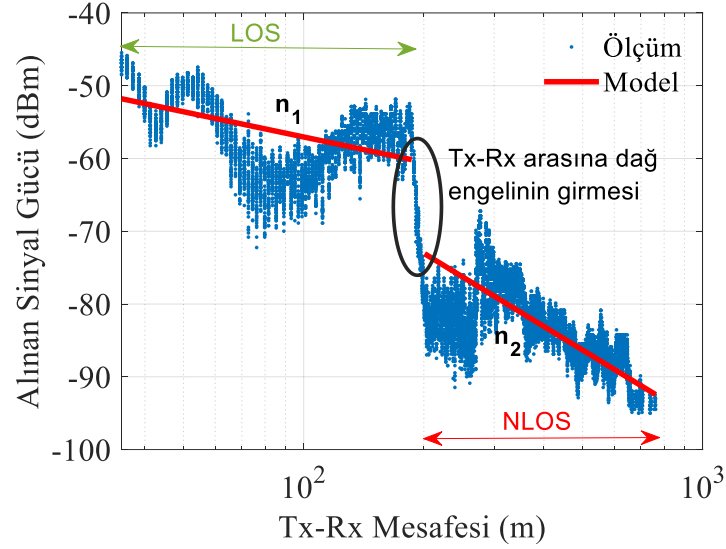


Şekil 4. Örnek bir verinin log-normal yol kaybı modellemesi

Log-normal model tek eğimli bir model olup  $n$  aslında yol kaybı modelinin eğimini göstermektedir. Çift eğimli yol kaybı modelinde ise belirli bir mesafeye kadar benzer örüntü gösteren veri kümesi bir yol kaybı üssü ( $n_1$ ) değeriyle modellenirken, bu mesafeden sonra farklı bir örüntüye sahip geri kalan veri kümesi başka bir yol kaybı üssü ( $n_2$ ) değeri ile modellenir. Çift eğimli yol kaybı modeli (2)'deki gibi olup (Goldsmith, 2005), verinin hangi mesafeden sonra farklı bir yol kaybı üssüne sahip olacağı kritik mesafeye dayalı olarak belirlenmektedir.

$$PL(d) = \begin{cases} PL_{d_0} + 10n_1 \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_\sigma & d_0 \leq d \leq d_c \\ PL_{d_0} + 10n_1 \log\left(\frac{d_c}{d_0}\right) + 10n_2 \log\left(\frac{d}{d_c}\right) + X_\sigma & d > d_c \end{cases} \quad (2)$$

Burada  $n_1$  ve  $n_2$  sırasıyla birinci ve ikinci yol kaybı üssü değerlerini gösterirken  $d_c$  ise kritik mesafeyi belirtmektedir. (2)'deki  $d_c$  değeri teorik olarak hesaplanabildiği gibi ölçüm verilerinin örüntüsündeki kırılma ve değişikliklere göre en uygun kritik mesafe değerinin seçilmesi şeklinde de olabilmektedir (Cheng, B. E. Henty, ve ark., 2007a; Cheng ve ark., 2008). Bu çalışmada  $d_c$  kritik mesafe değerleri teorik olarak değil ölçümlerdeki araç içi kamera kayıtları ve verinin mesafeye göre değişim örüntüsündeki kırılmaları incelenerek belirlenmiştir. Şekil 5'te, Tx ve Rx araç arasına dağ engelinin girdiği örnek bir ölçüm verilmiştir. Burada dağ engeli öncesi Tx ve Rx araçlar arasında direkt görüş varken (LOS), dağ engeli girdiğinde direkt görüşün kaybolduğu (NLOS) ve sinyalin büyük ölçüde zayıfladığı görülmektedir. Bu nedenle veride LOS örüntüsünden NLOS örüntüsüne geçişte dağ engeli kaynaklı oluşan kırılma mesafesi bu çalışmada kritik mesafe olarak alınmış ve çift eğimli yol kaybı modellemesi yapılmıştır.



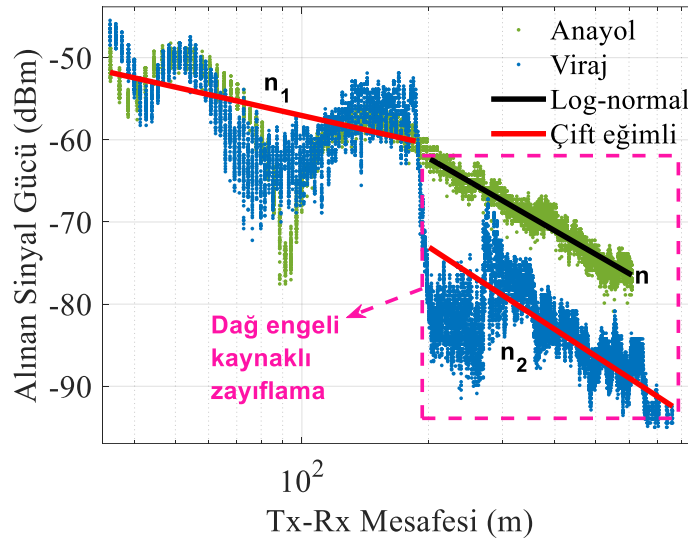
Şekil 5. Örnek bir verinin çift eğimli yol kaybı modellemesi

Hücreli iletişimde olduğu gibi, V2V yayılım modelleme çalışmalarında alınan sinyal gücünün ortamdaki zayıflama hızını belirleyen en önemli parametrelerden biri  $n$  parametresidir. Bu parametre dış ortam hücreli haberleşmede genellikle 2 ile 6 arasında değişir ve  $n=2$  ise serbest uzaydaki değeridir. Ancak V2V ölçüm çalışmalarında  $n$  yol kaybı üssünün hücreli haberleşmedeki değerlerin aksine 2'nin altında veya 6'nın üzerinde bulunabildiği görülmüştür (Ibdah ve Ding, 2017; Kuzulugil ve ark., 2023). Bu nedenle farklı ortamlarda ve senaryolarda V2V ölçümleri yapılarak  $n$  parametresinin kestiriminin doğru bir şekilde yapılması oldukça önemlidir. Ortama ve ölçümün doğasına en uygun  $n$  kestirimi yapılırken ise  $d_0$  ve  $PL_{d_0}$ 'ın seçimi oldukça önemlidir (Kuzulugil ve ark., 2020). Önceki çalışmalarda  $d_0$  değeri ölçüm ortamından bağımsız tipik olarak 1 m ile 100 m arasında sabit değerler olarak alınmıştır (Cheng ve ark., 2007; Karedal ve ark., 2011; Abbas ve ark., 2015; Kihei ve ark., 2015; Joo ve ark., 2018). Ancak  $d_0$  değerinin ölçümden bağımsız sabit bir değer olarak seçilmesinin en iyi  $n$  parametresinin bulunmasında kısıtlayıcı bir durum olduğu tespit edilmiş ve her bir ölçüm senaryosu için en uygun  $d_0$  ve  $PL_{d_0}$  değerlerinin seçilmesine yönelik bir yöntem önerilmiş ve ardından en uygun  $n$  değeri hesaplanmıştır (Kuzulugil ve ark., 2020). Bu nedenle bu çalışmada da bu önerilen metot kullanılarak yol kaybı parametreleri daha doğru bir şekilde elde edilmiştir.

Gölgeleme modellemesi yapılırken ise ölçüm verisinin mesafeye bağlı ortalaması alınmış ve ortalaması alınan sinyal ham ölçüm verisinden çıkarılmıştır. Ardından geri kalan veri çokyolluluk etkisi ihmal edilerek gölgeleme bileşeni olarak değerlendirilmiş, sıfır ortalamalı Gaussian dağılımı ile modellenerek (Cheng, B. Henty, ve ark., 2007; Fernández ve ark., 2013; Onubogu ve ark., 2014; Kihei ve ark., 2015) standart sapma ( $\sigma$ ) değerleri elde edilmiştir.

## 2.4. Zayıflama

V2V haberleşme kanalının modelleme doğruluğu ve etkinliği çeşitli çevresel faktörlere bağlıdır. Bunların en önemlilerinden biri Tx ve Rx araç arasında başka araç, bina, ağaç gibi engellerin radyo sinyalleri üzerindeki göz ardı edilemeyecek gölgeleme ve zayıflatma etkisidir. Literatürde araç, bina ve kısmen ağaç gibi engellerin bu etkilerine yer verilmiş olsa da özellikle anayollarda araya giren dağ engelini etkisi daha önce incelenmemiştir. Bu nedenle farklı V2V senaryolarında dağ engeline dayalı ortalama zayıflamanın belirlenmesi bu çalışmanın en önemli sonuçlarından biridir.



Şekil 6. Dağ engeli kaynaklı zayıflama (yeşil nokta: Anayol, mavi nokta: Viraj)

Bu çalışmada öncelikle arada dağ engeli olan virajlı yollarda ve dağ engeli olmayan bir anayolda deneysel ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edilen veriler log-normal (anayol için) ve çift eğimli (viraj için) yol kaybı modelleriyle modellenmiştir. Ardından Tx-Rx arasında dağ engeli olmayan bir anayol ile araya dağ engelini girdiği virajlı yollar Şekil 6'daki gibi kıyaslanmıştır. Şekildeki viraj ölçümünün dağ engeli girdikten sonraki NLOS kısmından dağ engeli olmayan anayol ölçümünün aynı mesafelerdeki kısmı çıkarılarak elde edilen verinin ortalaması alınmış ve böylece dağ engeli kaynaklı ortalama zayıflama hesaplanmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada virajlı anayollarda verici ve alıcı araç arasına giren dağ engelini V2V haberleşmesine etkisi araştırılmıştır. Bu bağlamda ilk olarak Gümüşhane ilinde dağ eteklerindeki virajlı 4 farklı anayol ortamında 5.9 GHz'de V2V kanal ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Öte yandan arada dağlık arazi engelini olmadığı anayol ortamı için de kanal ölçümleri alınmış ve dağ engelini

etkisini belirlemede referans ölçüm olarak kullanılmıştır. Ardından literatürde özellikle Tx-Rx arasında çeşitli engellerin bulunduğu senaryolarda yaygın olarak tercih edilen log-normal ve çift eğimli yol kaybı modelleri kullanılarak yayılım modellemesi yapılmıştır. Her bir V2V ortamında elde edilen yol kaybı ve gölgeleme parametreleri ( $n$ ,  $d_0$ ,  $PL_{d0}$ ,  $\sigma$ ) ile modelleme başarımları ise log-normal model için Tablo 3'te, çift eğimli model için Tablo 4'te sunulmuştur. Modelleme başarımları, model ile ölçüm verisi arasındaki RMSE (kök ortalama kare hatası) değeri ile verilmiştir. Yol kaybı parametrelerini elde etmek için ise (Kuzulugil ve ark., 2020)'deki optimum referans mesafe seçimine dayalı en iyi  $n$  kestirimi için önerilen metot kullanılmıştır.

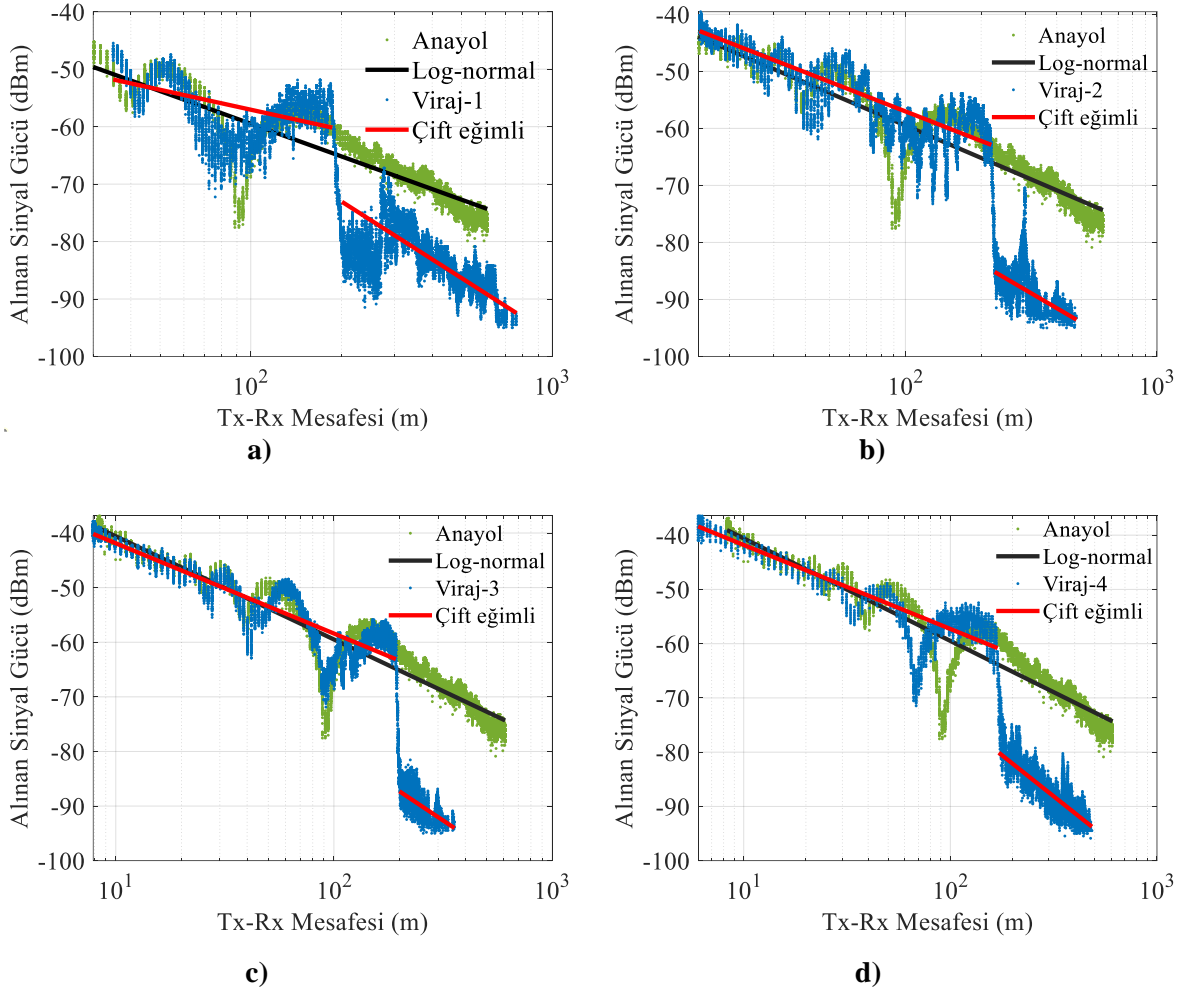
**Tablo 3.** Log-normal yol kaybı modeli için elde edilen parametre değerleri

Senaryolar	LOS + NLOS				
	Yol Kaybı Parametreleri			Gölgeleme	Model Hatası
	$n$	$d_0$ (m)	$PL_{d0}$ (dB)	$\sigma$ (dB)	RMSE (dB)
Anayol	1.89	10.49	66.98	0.91	3.06
Viraj-1	3.15	99.02	89.79	2.17	5.28
Viraj-2	3.27	19.20	69.88	1.70	8.23
Viraj-3	3.31	16.30	71.01	1.26	8.37
Viraj-4	3.14	15.09	70.66	1.32	6.02

**Tablo 4.** Çift eğimli yol kaybı modeli için elde edilen parametre değerleri

Senaryolar	LOS (dağ engeli yokken)					NLOS (dağ engeli varken)				
	Yol Kaybı Parametreleri			Gölgeleme	Model Hatası	Yol Kaybı Parametreleri			Gölgeleme	Model Hatası
	$n_1$	$d_{01}$ (m)	$PL_{d01}$ (dB)	$\sigma_1$ (dB)	RMSE (dB)	$n_2$	$d_{02}$ (m)	$PL_{d02}$ (dB)	$\sigma_2$ (dB)	RMSE (dB)
Viraj-1	1.15	39.93	78.46	2.37	4.24	3.34	281.76	104	1.76	3.3
Viraj-2	1.72	16.05	69.34	1.66	3.37	2.58	270.67	113.17	1.78	2.6
Viraj-3	1.65	9.36	67.41	1.11	3.27	2.67	211.97	113.99	1.50	1.16
Viraj-4	1.55	6.88	65.3	1.21	3.16	3.02	424.33	117.99	1.46	1.75

Her bir ortam için yapılan modellemelerde, uyum başarımının ölçütü olan ortalama model hatası log-normal model için yaklaşık 7.1 dB bulunurken, çift eğimli modelin LOS kısmı için 3.51 dB, NLOS kısmı için 2.2 dB olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar daha düşük RMSE değerlerine sahip olan çift eğimli yol kaybı modelinin dağ engeli bulunan verileri temsil etmede, log-normal modelin ise dağ engeli bulunmayan anayol verilerini temsil etmede daha başarılı olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda, dağ engelini etkisini belirlemede referans olarak kullanılan anayol ölçümü ve log-normal dağılım modeli ile dağlık arazi engeli bulunan virajlı anayol ölçümleri ve her birinin çift eğimli yol kaybı modelleri karşılaştırmalı olarak Şekil 7'deki gibi verilmiştir. Buradan da görüleceği üzere arada dağ engeli bulunan virajlı anayollarda çift eğimli yol kaybı modeli oldukça uygun bir temsiliyet sağlamaktadır.



**Şekil 7.** Yol kaybı modellerinin karşılaştırmalı gösterimi (yeşil nokta: Anayol, mavi nokta: Viraj).  
**a)** Viraj-1 senaryosu, **b)** Viraj-2 senaryosu, **c)** Viraj-3 senaryosu, **d)** Viraj-4 senaryosu

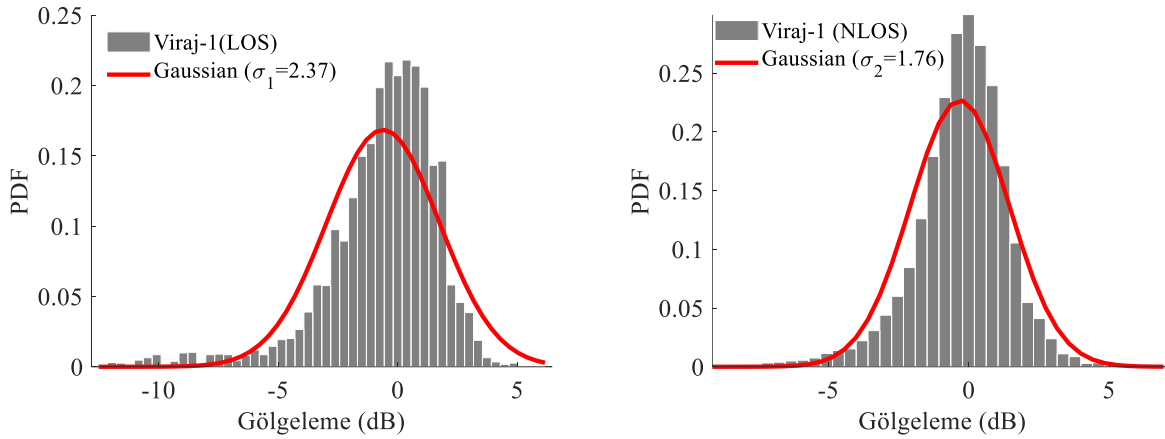
Literatürde (Vlastaras ve ark., 2014; Yang ve ark., 2018, 2023) arada araç veya bina engeli bulunan ortamlarda log-normal yol kaybı modelini, (He ve ark., 2014; Abbas ve ark., 2015; Yang ve ark., 2023) ise çift eğimli yol kaybı modelini kullanarak yol kaybı ve gölgeleme parametrelerini elde etmişlerdir. Sonuç olarak bu çalışmada ise arada dağ engeli bulunan senaryolar için bu iki model başarımları karşılaştırılıp yol kaybı ve gölgeleme parametreleri ilk kez elde edilmiş ve çift eğimli modellemenin dağ engeli olan senaryolarda daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Tablo 3 ve Tablo 4'teki sonuçlar incelendiğinde dağlık arazi engelini olmadığı anayol ortamı log-normal model ile modellenmiş ve  $n$  değeri 1.89 olarak elde edilmiştir. Dağ engelini olduğu virajlı farklı anayol ortamlarında ise daha iyi başarımlar gösterdiği için çift eğimli yol kaybı modeli kullanılmış ve  $n_1$  değerleri 1.15-1.72 arasında,  $n_2$  değerleri ise 2.58-3.34 arasında elde edilmiştir. Bu hesaplamalar yapılırken  $d_c$  kritik mesafeleri viraj-1, viraj-2, viraj-3 ve viraj-4 ölçümleri için sırasıyla 190 m, 225 m, 195 ve 170 m olarak alınmıştır. Mevcut literatürde Tx ve Rx arasında araç ve bina gibi engellerin bulunduğu ortamlar için bazı ölçüm ve modelleme sonuçları mevcutken, virajlı yollarda araya dağlık arazi engeli giren ortamlar için yapılan çalışmalara rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu

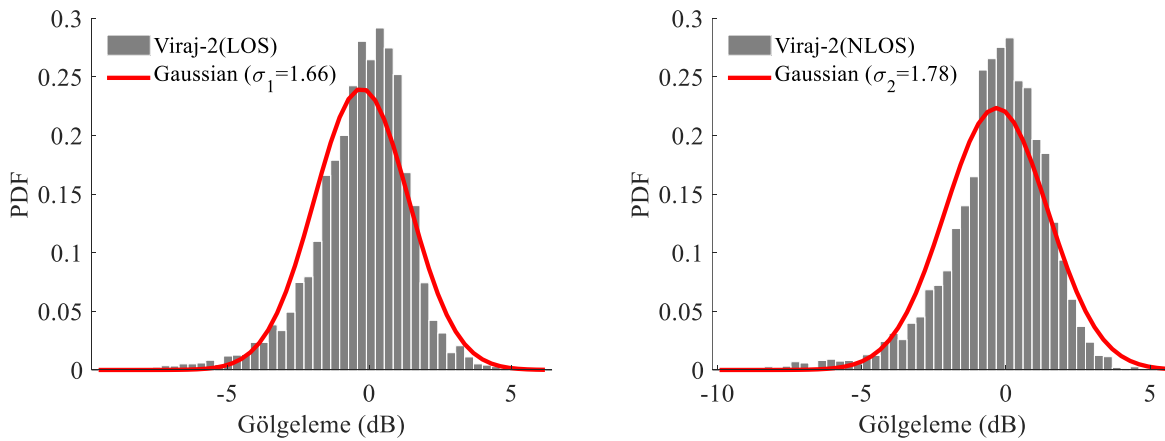


çalışmanın özgün katkısı V2V kanalında dağlık arazi engelini etkisinin saptanması ve bu ortamlar için yol kaybı modellerinin yapılmasıdır. Öte yandan Tx ve Rx arasında araç veya bina engelini bulunduğu ortamlardaki  $n_1$  değerlerini 1.53 ile 2.18 arasında bulurken  $n_2$  değerlerini 2.74 ile 5.34 arasında elde etmişlerdir (He ve ark., 2014; Abbas ve ark., 2015; Yang ve ark., 2023). Sonuçlar irdelendiğinde literatürdeki araç ve bina engelleri için sırasıyla yaklaşık 1.78 ve 3.6 bulunan ortalama  $n_1$  ve  $n_2$  değerleri, dağlık arazi engeli bulunan ortamlar için sırasıyla yaklaşık 1.52 ve 2.91 olarak elde edilmiş ve bu çalışma sonucunda literatüre kazandırılmıştır.

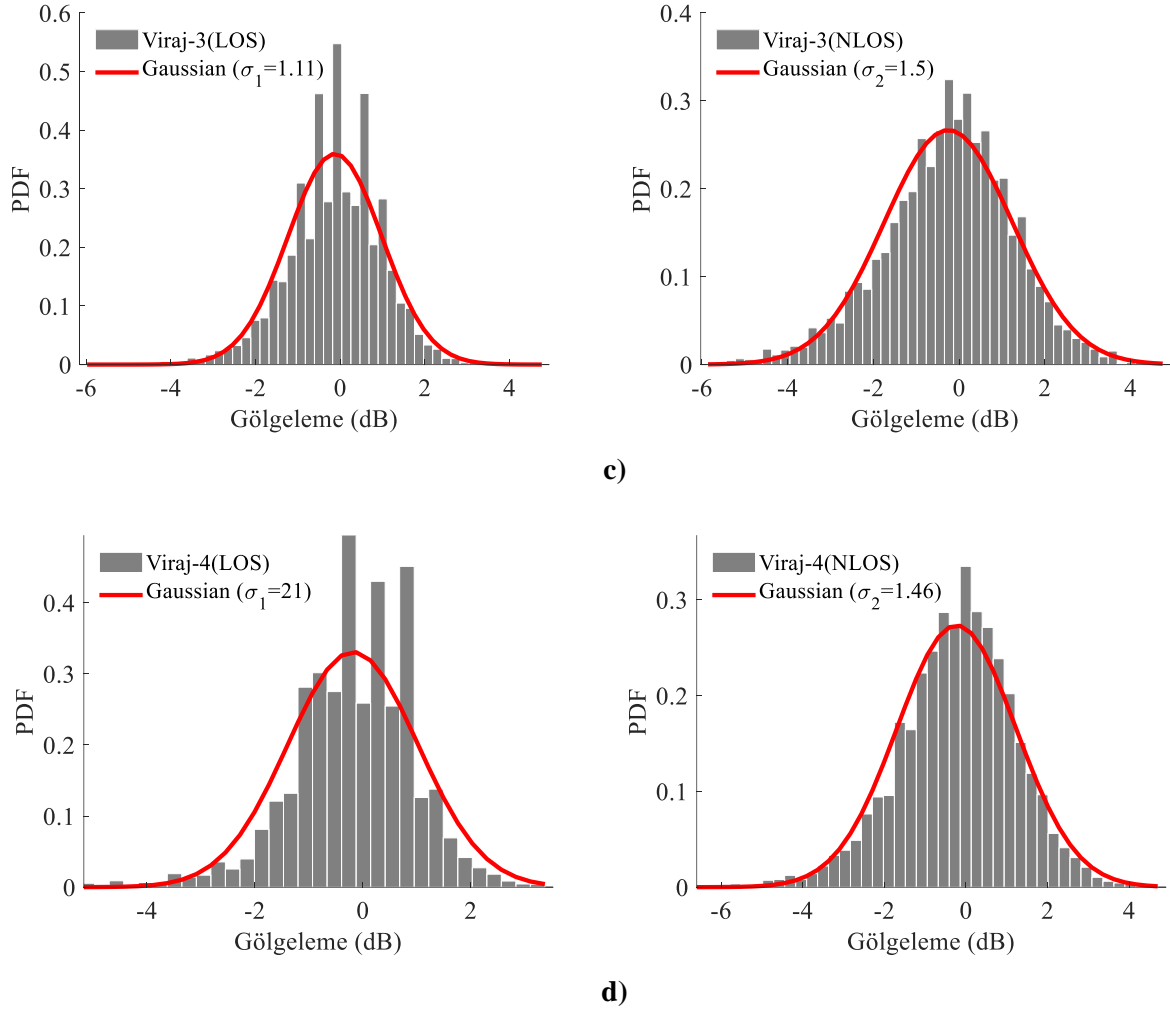
Yol kaybı modelindeki  $X_\sigma$ , gölgeleme etkilerini tanımlayan log-normal dağılımlı rastgele bir değişken olup standart sapması  $\sigma$  olan sıfır ortalamalı bir Gaussian dağılımı olarak modellenmektedir. Bu çalışma kapsamında dağ engeli içeren her bir senaryo için gölgeleme modellemesi yapılmış ve gölgeleme verilerine karşılık gelen en uygun Gaussian modeli Şekil 8'deki gibi sunulmuştur. Niceliksel sonuçlar ise veriye en uygun Gaussian dağılımının standart sapmaları ( $\sigma$ ) olarak hem Şekil 8'de hem de Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir. Standart sapma değerlerinin Tx-Rx arasında dağ engeli bulunan (NLOS) anayol ortamlarında ortalama  $\sigma_2=1.63$  dB, engel olmayan ortamlar (LOS) için ise yaklaşık ortalama  $\sigma_1=1.59$  dB düzeylerinde elde edilmiştir.



a)



b)



**Şekil 8.** Gölgeleme modelleri (PDF: olasılık yoğunluk fonksiyonu)  
**a)** Viraj-1 senaryosu, **b)** Viraj-2 senaryosu, **c)** Viraj-3 senaryosu, **d)** Viraj-4 senaryosu

Son olarak ise yine bu çalışma kapsamında V2V haberleşmesinde dağ engelinin sebep olduğu zayıflama etkisi hesaplanmış ve Tablo 5’te verilmiştir. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde Tx-Rx arasında dağ engeli olan senaryolardaki zayıflama değerleri 12.5-24.5 dB arasında elde edilmiş olup, dağ engeli bulunmayan ortama göre ortalama zayıflamanın 19.6 dB daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

**Tablo 5.** Dağ engeli zayıflama etkisi

Senaryolar	Ortalama Zayıflama
Viraj-1	12.66 dB
Viraj-2	20.78 dB
Viraj-3	24.66 dB
Viraj-4	20.26 dB



Literatürde araç veya bina engellerinin neden olduğu ortalama zayıflama değerlerini ise yaklaşık 9 dB (Boban ve ark., 2011), 10 dB (Abbas ve ark., 2015; Shu ve ark., 2018; Yang ve ark., 2018), 12-13 dB (Vlastaras ve ark., 2014) ve 20 dB (Meireles ve ark., 2010; He ve ark., 2014; Giordani ve ark., 2019) düzeylerinde tespit etmişlerdir. Böylece oldukça önemli bir gölgeleme etkisine sahip olduğu tespit edilen dağ engelinin, bina ve araçlarda gözlemlenen etkilerle karşılaştırıldığında göz ardı edilmeyecek ölçüde bir zayıflamaya (19.6 dB) neden olduğu sonucuna varılmış ve bu çalışma kapsamında mevcut literatüre bulgu olarak ilk kez kazandırılmıştır.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

V2V haberleşmesinde çevresel faktörlerin etkilerinin saptanması link tasarımcıları ve sistem geliştiricileri için oldukça önemlidir. Literatürde verici ve alıcı araçlar arasında bina, araç, ağaç gibi engellerin varlığının V2V kanalındaki etkileri kısmen tartışılmış ve birtakım bulgular sunulmuş olsa da bölgesel coğrafya nedeniyle sıklıkla karşılaşılan alıcı ve verici araçlar arasında dağ eteğinin engel oluşturduğu durumlar için bir araştırmaya rastlanılmamıştır. Bu nedenle bu çalışmada arada dağ engeli bulunan virajlı anayol ortamlarında V2V ölçümleri yapılmıştır. Ardından, ölçüm verileri literatürde yaygın olarak kullanılan log-normal ve çift eğimli yol kaybı modelleri ile modellenmiş ve model uyumları değerlendirilmiştir. Buradan arada dağ engeli bulunan virajlı anayolları çift eğimli yol kaybı modelinin log-normal dağılıma göre çok daha iyi temsil ettiği gözlenmiş ve modeldeki  $n_1$  ve  $n_2$  parametreleri ortalama 1.52 ve 2.91 olarak elde edilmiştir. Son olarak ise V2V haberleşmesinde dağ engelinin sebep olduğu zayıflama etkisi ilk kez araştırılmış ve ortalama zayıflama 19.6 dB olarak bulunmuştur. Bu değer, V2V haberleşmesinde bina ve diğer araçların neden olduğu zayıflama değerleri ile kıyaslandığında oldukça yüksek olup, link tasarımında dikkate alınması gereken bir engel olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma sonucunda elde edilen bulguların gerek V2V sistem tasarımcılarına gerekse alandaki diğer araştırmacılara faydalı olacağı kanaatindeyiz.

#### Teşekkür

Bu çalışmanın deneysel düzeneğindeki altyapıya desteğinden ötürü Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümü öğretim üyesi Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAVDAR'a teşekkürü bir borç biliriz.

#### Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Abbas, T., Sjöberg, K., Karedal, J. ve Tufvesson, F. (2015) "A Measurement Based Shadow Fading Model for Vehicle-to-Vehicle Network Simulations", *International Journal of Antennas and Propagation*, 2015, 1-12.
- Boban, M., Vinhoza, T. T. V., Ferreira, M., Barros, J. ve Tonguz, O. K. (2011) "Impact of vehicles as obstacles in Vehicular Ad Hoc Networks", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 29(1), 15-28.
- Cheng, L., Henty, B. E., Bai, F. ve Stancil, D. D. (2008) "Highway and rural propagation channel modeling for vehicle-to-vehicle communications at 5.9 GHz", 2008 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, APSURSI, 6611(1), 4-5.
- Cheng, L., Henty, B. E., Stancil, D. D., Bai, F. ve Mudalige, P. (2007a) "Mobile vehicle-to-vehicle narrow-band channel measurement and characterization of the 5.9 GHz Dedicated Short Range Communication (DSRC) frequency band", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(8), 1501-1516.
- Cheng, L., Henty, B. E., Stancil, D. D., Bai, F. ve Mudalige, P. (2007b) "Mobile vehicle-to-vehicle narrow-band channel measurement and characterization of the 5.9 GHz Dedicated Short Range Communication (DSRC) frequency band", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 25(8), 1501-1516.
- Cheng, L., Henty, B., Stanci, D. D., Bai, F. ve Mudalige, P. (2007) "A fully mobile, GPS enabled, vehicle-to-vehicle measurement platform for characterization of the 5.9 GHz DSRC channel", *IEEE Antennas and Propagation Society, AP-S International Symposium (Digest)*, 2005-2008.
- Cohda Wireless (2018) Cohda Wireless' 5th generation market ready On-Board Unit. [http://www.cohdawireless.com/wp-content/uploads/2018/08/CW\\_Product-Brief-sheet-MK5-OBUnit.pdf](http://www.cohdawireless.com/wp-content/uploads/2018/08/CW_Product-Brief-sheet-MK5-OBUnit.pdf) (Erişim: 11 Nisan 2023).
- Fernández, H., Rubio, L., Reig, J., Rodrigo-Peñarrocha, V. M. ve Valero, A. (2013) "Path loss modeling for vehicular system performance and communication protocols evaluation", *Mobile Networks and Applications*, 18(6), 755-765.
- Giordani, M., Shimizu, T., Zanella, A., Higuchi, T., Altintas, O. ve Zorzi, M. (2019) "Path Loss Models for V2V mmWave Communication: Performance Evaluation and Open Challenges", 2019 IEEE 2nd Connected and Automated Vehicles Symposium (CAVS), 1-5.
- Goldsmith, A. (2005) *Wireless communications*.
- He, R., Molisch, A. F., Tufvesson, F., Zhong, Z., Ai, B. ve Zhang, T. (2014) "Vehicle-to-vehicle propagation models with large vehicle obstructions", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 15(5), 2237-2248.
- Ibdah, Y. ve Ding, Y. (2017) "Path Loss Models for Low-Height Mobiles in Forest and Urban", *Wireless Personal Communications*, 92(2), 455-465.
- Joo, J., Jeong, H. J. ve Han, D. S. (2018) "Verification of Fresnel Zone Clearance for Line-of-sight Determination in 5.9 GHz Vehicle-to-Vehicle Communications", *Wireless Personal Communications*, 101(1), 239-249.
- Karedal, J., Czink, N., Paier, A., Tufvesson, F. ve Molisch, A. F. (2011) "Path loss modeling for vehicle-to-vehicle communications", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 60(1), 323-328.
- Kihei, B., Copeland, J. A. ve Chang, Y. (2015) "Improved 5.9GHz V2V short range path loss model", *Proceedings - 2015 IEEE 12th International Conference on Mobile Ad Hoc and Sensor Systems, MASS 2015*, 244-252.

- Kuzulugil, K., Hasirci, Z. ve Cavdar, I. H. (2020) "Optimum reference distance based path loss exponent determination for vehicle-to-vehicle communication", Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 28(5), 2956-2967.
- Kuzulugil, K., Tugcu, Z. H. ve Cavdar, I. H. (2023) "A Proposed V2V Path Loss Model: Log-Ray", Arabian Journal for Science and Engineering, 1-11.
- Meireles, R., Boban, M., Steenkiste, P., Tonguz, O. ve Barros, J. (2010) "Experimental study on the impact of vehicular obstructions in VANETs", 2010 IEEE Vehicular Networking Conference, VNC 2010, 338-345.
- Onubogu, O., Ziri-Castro, K., Jayalath, D., Ansari, K. ve Suzuki, H. (2014) "Empirical vehicle-to-vehicle pathloss modeling in highway, suburban and urban environments at 5.8 GHz", 2014, 8th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, ICSPCS 2014 - Proceedings, 7-12.
- Rappaport T.S. (2002) Rappaport - Wireless Communications, Principles and Practice.
- Shu, X., Li, C., Chen, W., Yu, J. ve Yang, K. (2018) "Performance Analysis of V2V Radio Channel under Typical Urban Intersection Scenario", 2018 IEEE International Conference on Communication Systems (ICCS), 216-220.
- Turner, J. S. C., Shahrman, A. B., Harun, A., Hashim, M. S. M., Razlan, Z. M., Wan, W. K., Ibrahim, Z., Abdullah, A. H., Fadzilla, M. A., Kassim, K. A. A., Khalid, M. S. A., Jawi, Z., Isa, M. H. M., Murad, S. A. Z. ve Ismail, R. C. (2019) "Effect of Roadways Plantation on Signal Propagation Analysis in Connected Autonomous Vehicle Communication", IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 557(1), 12056.
- Vlastaras, D., Abbas, T., Nilsson, M., Whiton, R., Olback, M. ve Tufvesson, F. (2014) "Impact of a truck as an obstacle on vehicle-to-vehicle communications in rural and highway scenarios", 2014 IEEE 6th International Symposium on Wireless Vehicular Communications, WiVeC 2014 - Proceedings.
- Yang, M., Ai, B., He, R., Chen, L., Li, X., Huang, Z., Li, J. ve Huang, C. (2018) "Path Loss Analysis and Modeling for Vehicle-To-Vehicle Communications with Vehicle Obstructions", 2018 10th International Conference on Wireless Communications and Signal Processing, WCSP 2018.
- Yang, M., Ai, B., He, R., Ma, Z., Mi, H., Fei, D., Zhong, Z., Li, Y. ve Li, J. (2023) "Dynamic V2V Channel Measurement and Modeling at Street Intersection Scenarios", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 71(5), 4417-4432.

## Acrylonitrile-Containing Copolymer Synthesis and Magnesium Ions Adsorption of the Copolymer

Ergül MEYVACI<sup>1</sup> , Temel ÖZTÜRK<sup>2\*</sup> 

### Abstract

Poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) [P(AN-MMA)] copolymer was obtained in the presence of 2,2'-azobisisobutyronitrile by using acrylonitrile and methyl methacrylate monomers via free radical polymerization. The surface of the synthesized copolymer was hydrolyzed in sodium hydroxide solution. Nitrile groups ( $-C\equiv N$ ) on the P(AN-MMA) copolymer surface were converted into conjugated imine groups ( $-C=N-$ ). Hydrolyzed poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) [HP(AN-MMA)] copolymer was used in the adsorption of magnesium ions. Magnesium ion was determined with ethylenediaminetetraacetic acid in a water solution containing  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  before and after adsorption. The adsorption capacity of the HP(AN-MMA) copolymer against  $Mg^{2+}$  ions was found to be  $1.27 \text{ mmol} \cdot g^{-1}$  ( $pH=4.5$ ). After isolation and drying of the product, its structural and thermal characterization was determined by  $^1H$ -nuclear magnetic resonance spectroscopy, Fourier transform-infrared spectroscopy and thermogravimetric analysis, which are the basic polymer characterization methods. The average surface roughness ( $Ra$ ) values developed after magnesium ion adsorption were investigated by atomic force microscopy analysis. With magnesium ion adsorption, the  $Ra$  value increased from 136 nm to 354 nm.

**Keywords:** Magnesium Ion Adsorption, Hydrolyzed Poly(Acrylonitrile-co-Methyl Methacrylate) Copolymer, Atomic Force Microscopy, Free Radical Polymerization.

## Akrilonitril İçeren Kopolimer Sentezi ve Kopolimerin Magnezyum İyonları Adsorpsiyonu

### Öz

Serbest radikal polimerizasyonu yoluyla akrilonitril ve metil metakrilat monomerleri kullanılarak 2,2'-azobisisobütironitril varlığında poli(akrilonitril-ko-metil metakrilat) [P(AN-MMA)] kopolimeri elde edildi. Sentezlenen kopolimerin yüzeyi sodyum hidroksit çözeltisinde hidrolize edildi. P(AN-MMA) kopolimer yüzeyindeki nitril grupları ( $-C\equiv N$ ), konjuge imin gruplarına ( $-C=N-$ ) dönüştürüldü. Magnezyum iyonlarının adsorpsiyonunda hidrolize poli(akrilonitril-ko-metil metakrilat) [HP(AN-MMA)] kopolimeri kullanıldı. Magnezyum iyonu, adsorpsiyondan önce ve sonra  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  içeren sulu bir çözelti içerisinde etilendiaminetetraasetik asit ile belirlendi. HP(AN-MMA) kopolimerinin  $Mg^{2+}$  iyonlarına karşı adsorpsiyon kapasitesi  $1,27 \text{ mmol} \cdot g^{-1}$  ( $pH=4,5$ ) olarak bulunmuştur. Ürünün izolasyonu ve kurutulmasının ardından temel polimer karakterizasyon yöntemlerinden olan  $^1H$ -nükleer manyetik rezonans spektroskopisi, Fourier transform-kızılötesi spektroskopisi ve termogravimetrik analiz ile yapısal ve termal karakterizasyonu belirlendi. Magnezyum iyonu adsorpsiyonu sonrasında gelişen ortalama yüzey pürüzlülüğü ( $Ra$ ) değerleri atomik kuvvet mikroskobu analizi ile incelenmiştir. Magnezyum iyonu adsorpsiyonu ile  $Ra$  değeri 136 nm'den 354 nm'ye çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Magnezyum İyon Adsorpsiyonu, Hidrolize Poli(Akrilonitril-ko-Metil Metakrilat) Kopolimeri, Atomik Kuvvet Mikroskobu, Serbest Radikal Polimerizasyonu.

<sup>1,2</sup>Giresun University, Department of Chemistry, Giresun, Turkey, [mey2828@hotmail.com](mailto:mey2828@hotmail.com) [temel.ozturk@giresun.edu.tr](mailto:temel.ozturk@giresun.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 02.03.2024

Kabul/Accepted: 05.06.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Introduction

In recent years, polymers with different structures and architectures have been synthesized and reported using new-generation techniques (Meyvacı et al., 2023; Öztürk and Meyvacı, 2017; Öztürk et al., 2013; Meyvacı, 2023; Tunca et al., 2002; Altintas et al., 2011; Öztürk et al., 2020; Savaş et al., 2020; Dag et al., 2008; Öztürk and Hazer, 2010). Polymer structures containing polyacrylonitrile groups have been modified with tetrazine (Meyvacı and Öztürk, 2022; Kara et al., 2019). Polyacrylonitrile has been used as an adsorbent for the removal of metal ions due to its replaceable cyano groups (Sruthi and Anas, 2020). Polyacrylonitrile-based resins have attracted much attention thanks to their high chemical resistance and thermal stability (Bagheri et al., 2010). Amine-containing resins have been modified on polyacrylonitrile, especially to prevent pollution caused by nickel ions (Arsalani et al., 2009; Dąbrowski et al., 2004).

Magnesium ions are among the most abundant ions in water. Polystyrene sulfonamides cross-linked with chelating groups such as ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) have been very effective in removing heavy metal ions (Şenkal and Biçak, 2001; Biçak et al., 2000). New magnetic EDTA-modified adsorbent structures were designed by surface modification to remove heavy metal ions from aqueous solution (Ren et al., 2013). An attractive polymer composite adsorbent has been developed by cross-linking EDTA onto chitosan for the adsorptive removal of heavy metals (Verma et al., 2022). EDTA has amine groups and metal it is a widely used agent due to its chelating properties. Cloud point with EDTA is a suitable method for the extraction of  $Mg^{2+}$  ions. *Prunus Dulcis* L. barks modified with EDTA were found to have high biosorption capacity (Canlıdınç, 2022; Jawad, et al., 2017). Examples of modification of polyacrylonitrile have been reported (Arsalani and Hosseinzadeh, 2005). Amine and hydroxyl functional structures were formed by reacting polyacrylonitrile with ethylenediamine and monoethanolamine. Metal sorption capacities of various metal ions were measured (Arsalani and Hosseinzadeh, 2005). In the literature,  $-C\equiv N$  groups found in the polymer structure were converted into imine ( $-C=N-$ ) groups by a simple hydrolysis process (Bagheri et al., 2010; Deng et al., 2003).

In this study, poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) [P(AN-MMA)] copolymer was synthesized by free radical polymerization. The surface of the copolymer was hydrolyzed in sodium hydroxide solution to convert nitrile groups ( $-C\equiv N$ ) to imine groups ( $-C=N-$ ). In accordance with the literature (Deng et al., 2003), the adsorption was performed based on the electrostatic interaction between hydrolyzed P(AN-MMA) [HP(AN-MMA)] copolymer and magnesium ion. The products were characterized using various characterization methods.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Materials

2,2'-azobisisobutyronitrile (AIBN) (Sigma-Aldrich, 98%), methyl methacrylate (Sigma-Aldrich, 99%, an alumina column was used to remove the inhibitor), acrylonitrile (Sigma-Aldrich,  $\geq$  99%), *N,N*-dimethylformamide (anhydrous, Sigma-Aldrich, 99.8 %), methanol (anhydrous, Kimetsan 99.8 %), magnesium nitrate hexahydrate (Merck,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), sodium hydroxide (anhydrous, Sigma-Aldrich,  $\geq$  98 %), hydrochloric acid (Kimetsan, 37 %), ethylenedinitrilotetraacetic acid disodium salt dehydrate (Merck,  $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8 \cdot 2\text{Na} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) were used.

### 2.2. Instrumentation

$^1\text{H}$ -NMR spectra were recorded using Bruker Ultra Shield Plus, ultra-long hold time 400 NMR spectrometer in deuterated DMSO. FT-IR/ATR spectra were detected using Jasco FT/IR 6600 spectrometer in the range of 600-4000  $\text{cm}^{-1}$ . TGA measurements were conducted using a Seiko II Exstar 6000 model instrument (10  $^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$  from 25  $^\circ\text{C}$  to 600  $^\circ\text{C}$  under  $\text{N}_2$ ). The surface morphologies of the polymers were examined with the NT-MDT Ntegra-Solaris brand atomic force microscope (AFM) instrument before and after magnesium ion adsorption. Two different types have been tried (Tapping/Intermittent contact). Resonant Frequency: 240-440 kHz, Force Constant: 22-100  $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$  & Resonant Frequency: 47-150 kHz, Force Constant: 0.35-6.06  $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ . Surface images were taken with dimensions of 25x25  $\mu\text{m}$ .

### 2.3. Synthesis of Poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) [P(AN-MMA)] Copolymer by Free Radical Polymerization

Poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) [P(AN-MMA)] copolymer was synthesized using acrylonitrile and methyl methacrylate by free radical polymerization. 0.180 g (0.001 mol) AIBN, 8.100 g (0.152 mol) acrylonitrile, 2.808 g (0.028 mol) methyl methacrylate [acrylonitrile:methyl methacrylate=(5.4):(1) (mol:mol)] and 10 ml of *N,N*-dimethylformamide were put separately into a glass balloon followed by  $\text{N}_2$  flux for 5 minutes. The balloon was placed in an oil bath equipped with a magnetic stirrer. The polymerization was conducted at 70  $^\circ\text{C}$  for 20 hours. The precipitation of the copolymer was achieved by pouring the reaction mixtures into excess cold methanol. Therefore, the unreacted monomers were dissolved in methanol. After being kept in the freezer for 1 day, P(AN-

MMA) copolymer was isolated by decantation and dried at ambient temperature under vacuum for 4 days.

#### **2.4. Synthesis of Hydrolyzed Poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) [HP(AN-MMA)] Copolymer**

A similar hydrolyze method was present in the literature (Bagheri et al., 2010; Deng et al., 2003). For the synthesis of hydrolyzed poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) [HP(AN-MMA)] copolymer, 100 mL of ethanol:water (0.7 mol:3.3 mol) solution containing 5.035 g of NaOH was added into a 250 mL glass balloon. 1.625 g of P(AN-MMA) copolymer was added into the balloon and mixed at 75 °C. After 30 minutes, the reaction was terminated and the HP(AN-MMA) copolymer was collected with ordinary filter paper. It was washed with deionized water and dried in a vacuum oven at 40 °C.

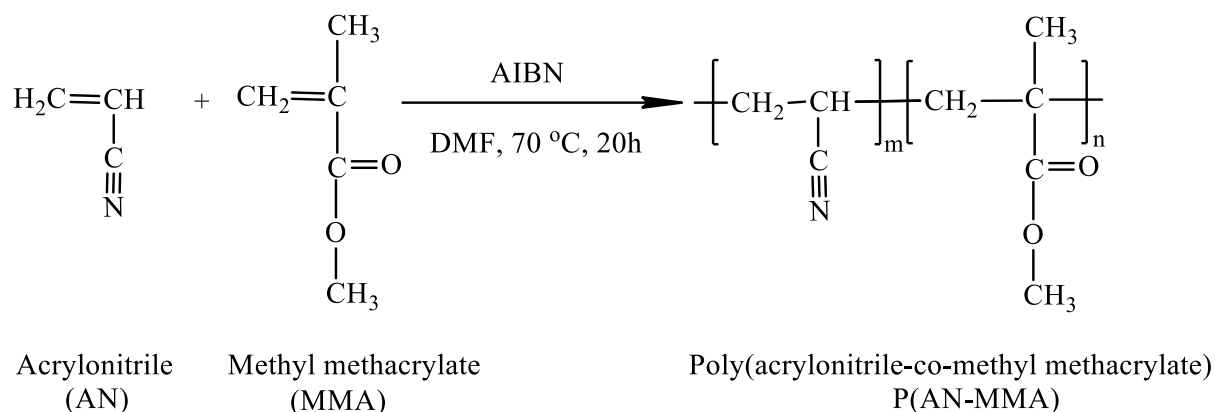
#### **2.5. Adsorption of Hydrolyzed Poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) [HP(AN-MMA)] Copolymer**

A similar method for polymer adsorption was present in the literature (Sruthi and Anas, 2020). 50 mL of deionized water solution containing 0.120 g of  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  was added into a 100 mL glass balloon. The pH value of the solution was adjusted to 4.5 (pH=4.5). The optimum pH value at which the polymer-metal complex is 4.5 (Deng et al., 2003). 0.184 g of HP(AN-MMA) copolymer was added to the aqueous solution containing the metal ion. The polymer-metal complex was formed by mixing until adsorption equilibrium was reached at room temperature. The complex was then separated from the solution by filtration.  $\text{Mg}^{2+}$  concentrations in the solution before and after adsorption were calculated. At the end of the adsorption experiment, the adsorbent was separated from the aqueous solution, and the amount of  $\text{Mg}^{2+}$  in the remaining solution was found by titration with 0.01 mol ethylenedinitrilotetraacetic acid disodium salt dehydrates at pH=10 using  $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{Cl}$  buffer system.

### **3. Findings and Discussion**

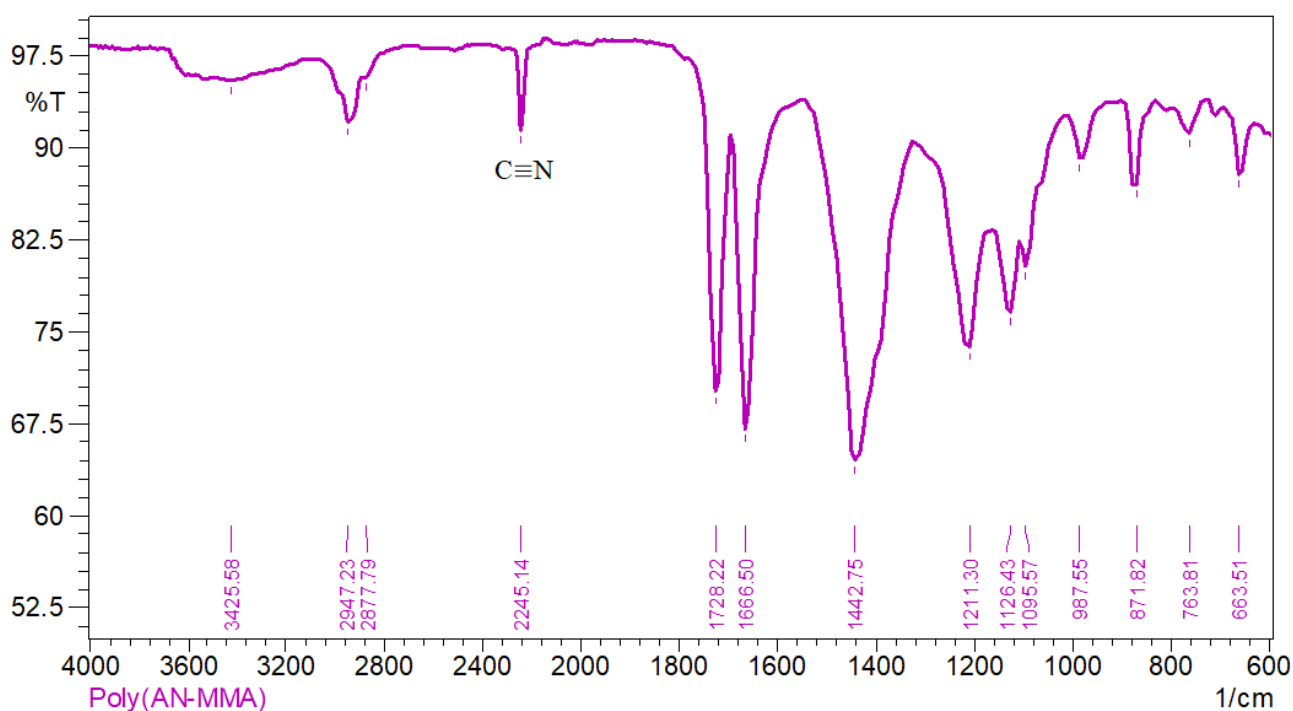
#### **3.1. Synthesis of P(AN-MMA) Copolymer**

The product was weighed as 9.966 g [yield: 91.36% (wt)]. The reaction step is shown in Scheme 1.



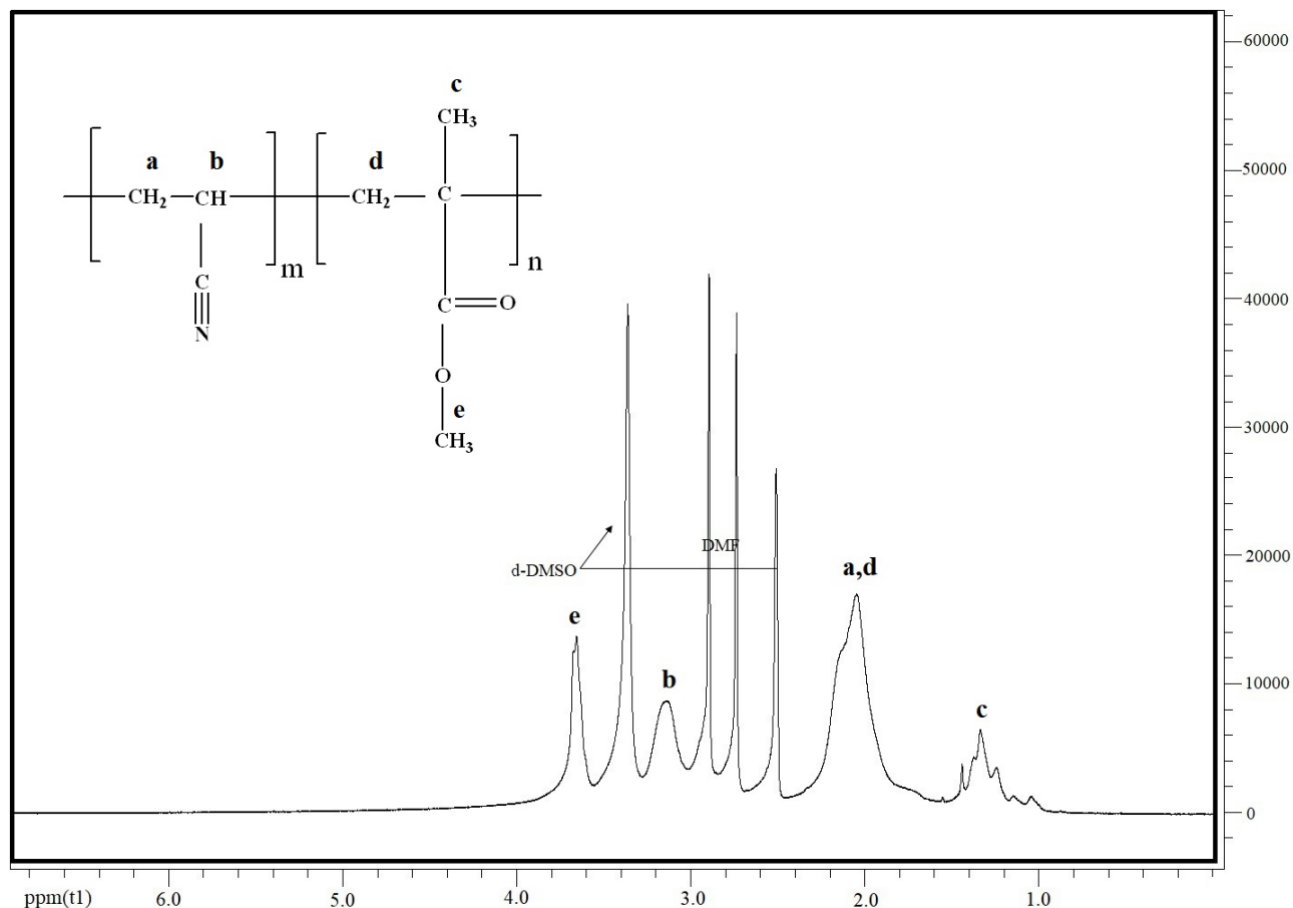
**Scheme 1.** Reaction pathway in the synthesis of P(AN-MMA) copolymer.

FT-IR spectrum of P(AN-MMA) copolymer given in Figure 1 shows the bands at  $3426\text{ cm}^{-1}$  and  $2947\text{ cm}^{-1}$  for asymmetric aliphatic  $-\text{CH}$  stretching,  $2878\text{ cm}^{-1}$  for symmetric aliphatic  $-\text{CH}$  stretching,  $2245\text{ cm}^{-1}$  for  $-\text{C}\equiv\text{N}$  stretching,  $1728\text{ cm}^{-1}$  for asymmetric  $-\text{C}=\text{O}$  stretching,  $1667\text{ cm}^{-1}$  for symmetric  $-\text{C}=\text{O}$  stretching and  $1095\text{-}1211\text{ cm}^{-1}$  for  $-\text{CO}$  stretching. The  $^1\text{H-NMR}$  spectrum of P(AN-MMA) copolymer in Figure 2 displayed signals at; ( $\delta$ , ppm): 3.66 ( $-\text{OCH}_3$  of polymethyl methacrylate block), 3.14 ( $-\text{CH}$  of polyacrylonitrile block), 2.05 ( $-\text{CH}_2$  of polyacrylonitrile and polymethyl methacrylate blocks) and 1.33 ( $-\text{CH}_3$  of polymethyl methacrylate block). The signals that  $-\text{CH}$  of the polyacrylonitrile group and  $-\text{OCH}_3$  of polymethyl methacrylate trace in the spectrum were indisputable evidence of the synthesis of the copolymer (Vargun et al., 2014).



**Figure 1.** FT-IR spectrum of P(AN-MMA) copolymer.

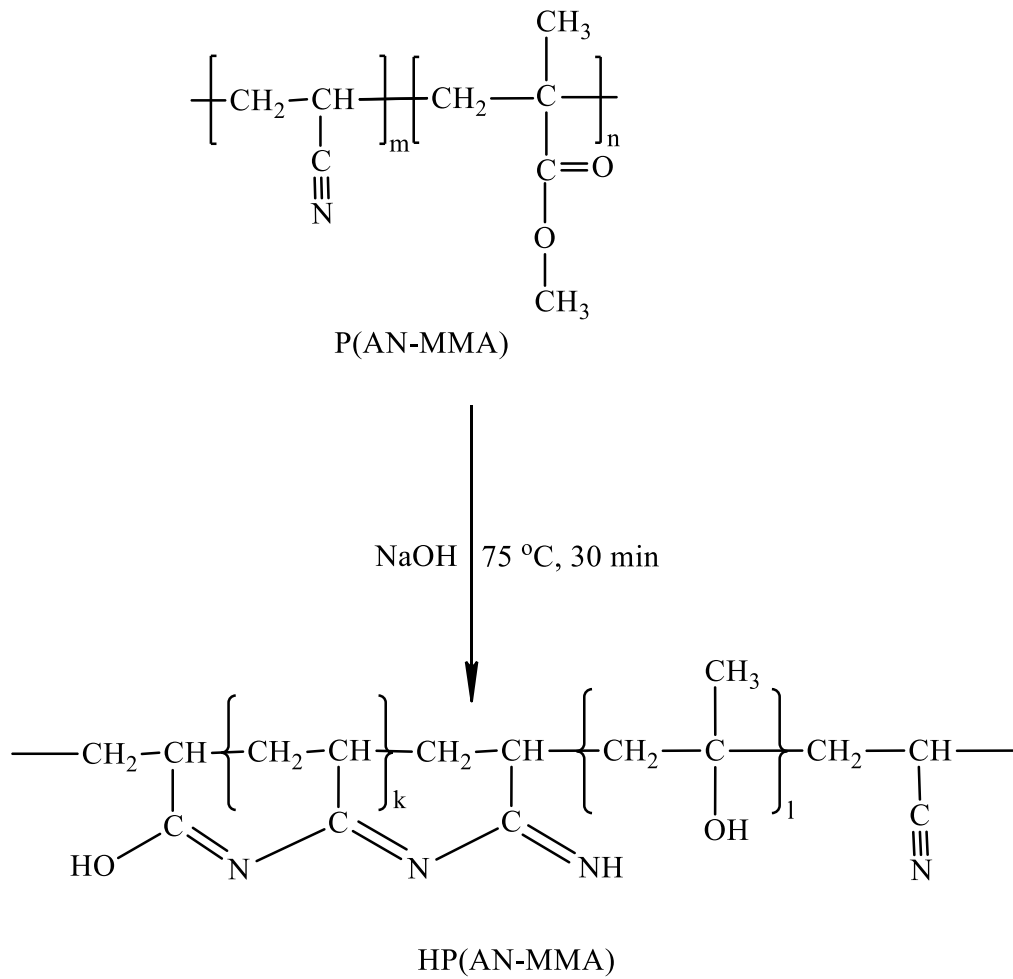




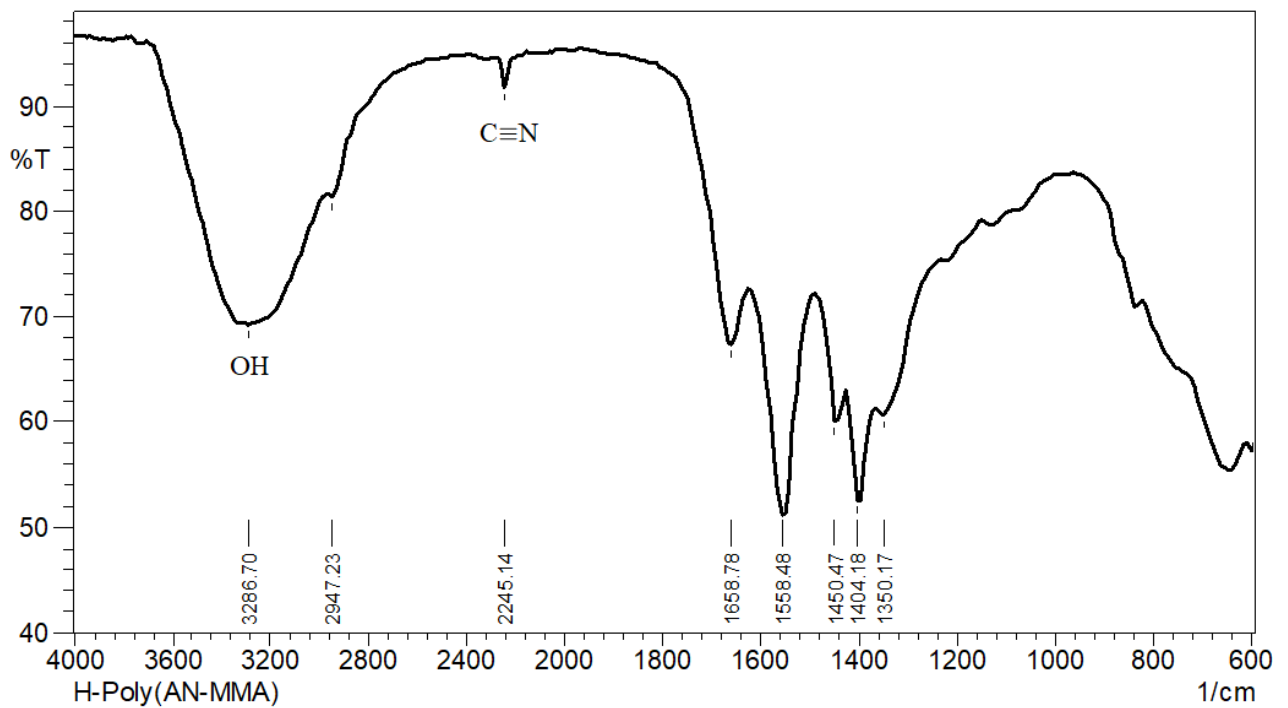
**Figure 2.** <sup>1</sup>H-NMR spectrum of P(AN-MMA) copolymer.

### 3.2. Hydrolysis of P(AN-MMA) Copolymer

The reaction outline is shown in Scheme 2. FT-IR spectrum of HP(AN-MMA) copolymer given in Figure 3 shows the bands at  $3287\text{ cm}^{-1}$  for -OH stretching,  $2245\text{ cm}^{-1}$  for  $-C\equiv N$  stretching,  $1558\text{ cm}^{-1}$ ,  $1404\text{ cm}^{-1}$  and  $1350\text{ cm}^{-1}$  for  $-C=N$  stretching vibration of the imine group. These new peaks formed in Figure 3 indicate the formed conjugated imine  $-C=N$  peaks. Since the  $-C\equiv N$  groups in the P(AN-MMA) copolymer turned into  $-C=N$  groups, the density of  $-C\equiv N$  groups in the HP(AN-MMA) copolymer decreased in Figure 3 compared to Figure 2. Additionally, the presence of -OH groups in Figure 3 is another proof that the synthesis was successful.



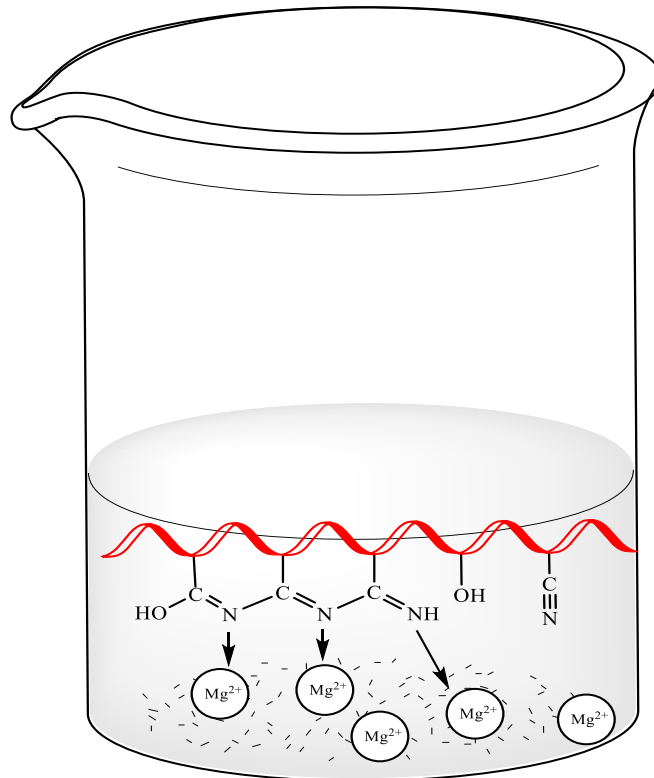
**Scheme 2.** Reaction outline in the synthesis of HP(AN-MMA) copolymer.



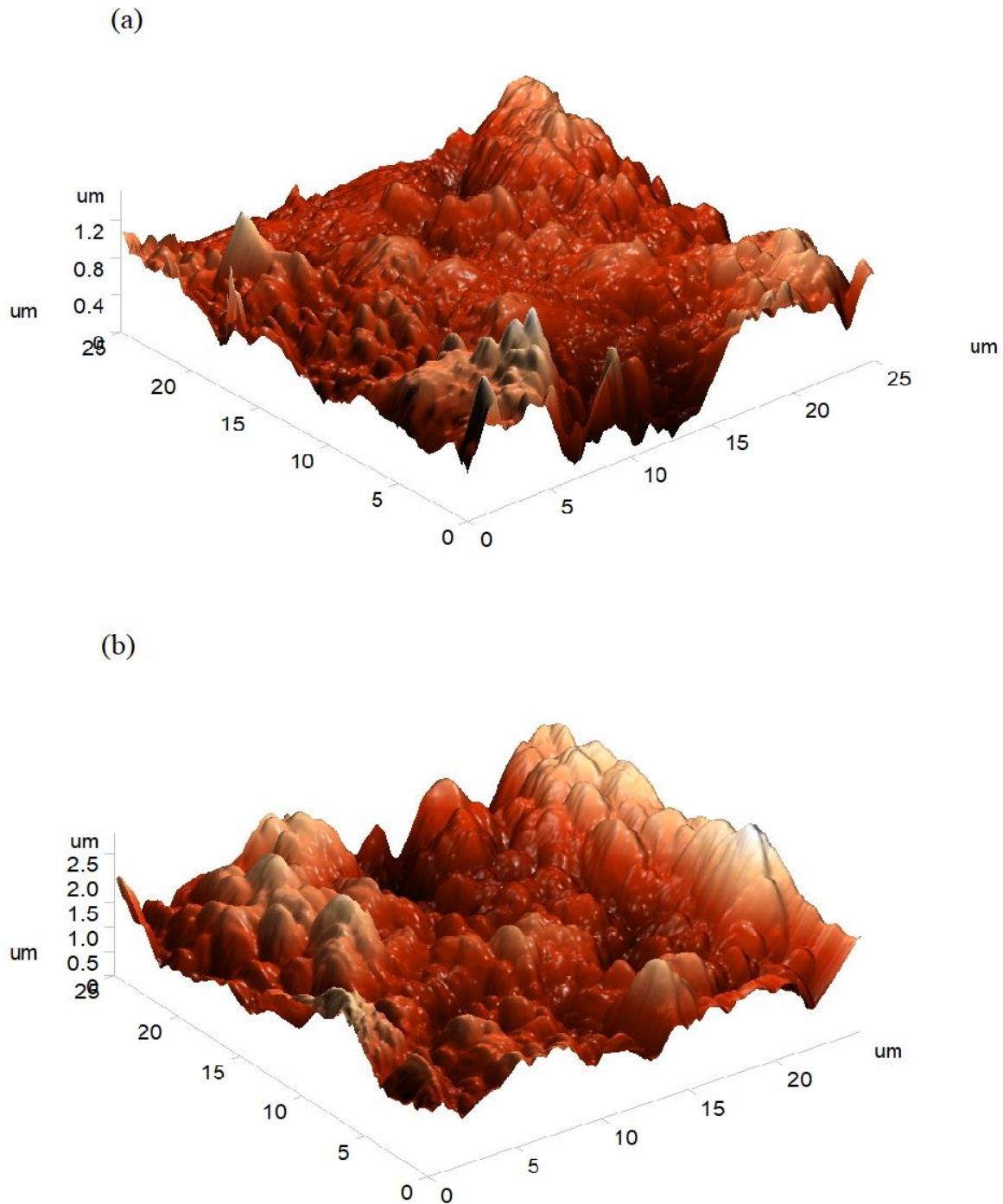
**Figure 3.** FT-IR spectrum of HP(AN-MMA) copolymer.

### 3.3. Adsorption of HP(AN-MMA) Copolymer

The adsorption of the magnesium ion onto HP(AN-MMA) copolymer is illustrated in Figure 4. The amount of  $Mg^{2+}$  in the remaining solution was found to be  $115 \text{ mg.L}^{-1}$  at  $\text{pH}=10$  by titration. The performance of the adsorbent was calculated to be approximately 50% for  $Mg^{2+}$ . The 3D image of the surface topography was visualized with an AFM instrument. Images of HP(AN-MMA) copolymer and magnesium-adsorbed HP(AN-MMA) copolymer are given in Figure 5. Average roughness ( $Ra$ ) values were calculated from AFM images. The  $Ra$  value of HP(AN-MMA) copolymer was found to be 136 nm, and the  $Ra$  value of the magnesium-adsorbed HP(AN-MMA) copolymer was found to be 354 nm. Magnesium ion adsorption made the surface rough. The increase in the roughness ratio proves that absorption has occurred.



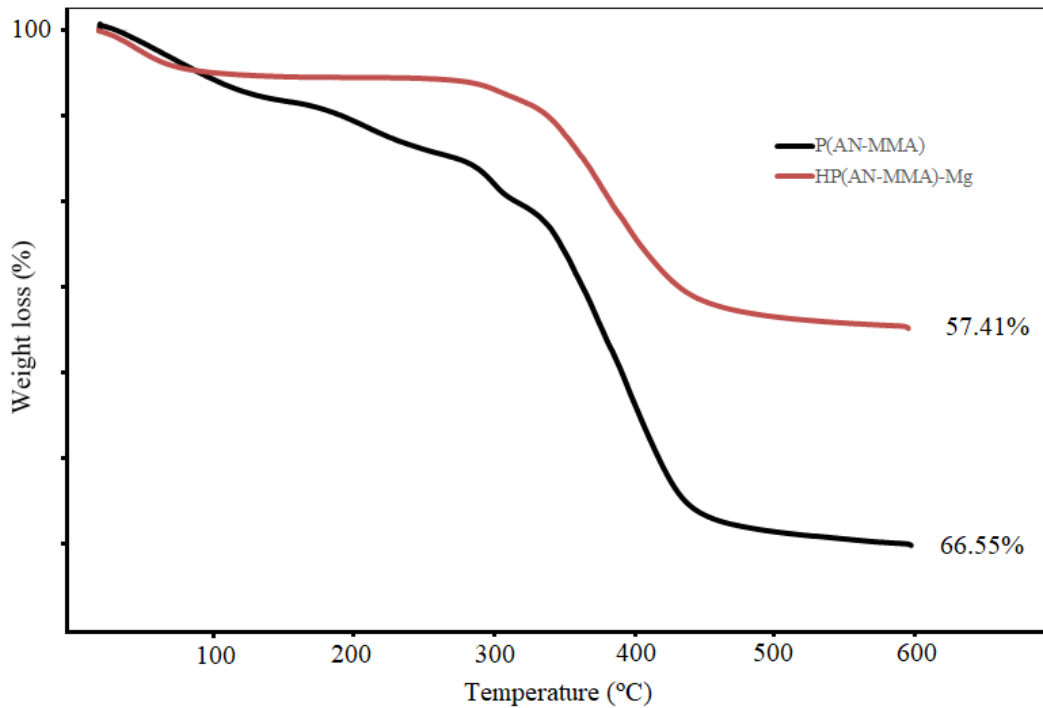
**Figure 4.** Adsorption of magnesium ion onto HP(AN-MMA) copolymer.



**Figure 5.** Tridimensional AFM images of (a) hydrolyzed poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) and (b) hydrolyzed poly(acrylonitrile-co-methyl methacrylate) with magnesium ion adsorption.

TGA results of P(AN-MMA) copolymer and HP(AN-MMA) copolymer with magnesium ion adsorption are shown in Figure 6. Initial weight losses in the TGA thermogram are due to the dissociation of residual solvent. P(AN-MMA) copolymer has two main decomposition temperatures (Td). The first weight loss occurred between 277 °C and 322 °C, with a maximum of 7.8% (wt) decomposing at 303 °C. According to the literature, this decomposition temperature is attributed to the decomposition of the polyacrylonitrile unit in the copolymer structure (Liu et al., 2019). The second weight loss occurred between 328 °C and 476 °C, with a maximum of 40% (wt) decomposing

at 385 °C. According to the literature, this decomposition temperature is attributed to the decomposition of the polymethyl methacrylate unit in the copolymer structure (Balci et al., 2002). TGA curve shows that the magnesium-adsorbed HP(AN-MMA) copolymer has a lower % weight loss than the P(AN-MMA) copolymer. It was observed less weight loss in the TGA curve due to the magnesium in the structure of the magnesium-adsorbed HP(AN-MMA) copolymer. It shows that the stability of the copolymers depends on the components in the copolymer (Çankaya and Besci, 2018).



**Figure 6.** TGA results obtained for P(AN-MMA) and HP(AN-MMA)-Mg showing thermal degradation.

#### 4. Conclusions and Recommendations

FT-IR,  $^1\text{H-NMR}$ , AFM, and TGA were carried out for the product characterizations. These characterization methods prove that product syntheses have occurred. The  $Ra$  value of HP(AN-MMA) copolymer calculated from AFM images was found to be 136 nm, and the  $Ra$  value of the magnesium-adsorbed HP(AN-MMA) copolymer was found to be 354 nm. The increase in the roughness ratio at AFM image and lower % weight loss at TGA of magnesium-adsorbed HP(AN-MMA) copolymer confirmed that absorption occurred. Hydrolyzed P(AN-MMA) copolymer can be used to obtain softened hard water.

## Authors' Contributions

All authors contributed equally to the study.

## Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the authors.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Meyvacı, E., Çatıker, E., and Öztürk, T. (2023). Synthesis and characterization of poly ( $\beta$ -propiolactone)-b-poly (methyl methacrylate) tri-arm block copolymer using atom transfer radical polymerization. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, 13(3), 882-893.
- Öztürk, T., and Meyvacı, E. (2017). Synthesis and characterization poly( $\epsilon$ -caprolactone-b-ethylene glycol-b- $\epsilon$ -caprolactone) ABA type block copolymers via "click" chemistry and ring-opening polymerization. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 54(9), 575-581.
- Öztürk, T., Atalar, M. N., Göktaş, M., and Hazer, B. (2013). One-step synthesis of block-graft copolymers via simultaneous reversible-addition fragmentation chain transfer and ring-opening polymerization using a novel macroinitiator. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 51(12), 2651-2659.
- Meyvacı, E. (2023). Synthesis and characterization of poly [poly (ethylene glycol) methacrylate]-graft-poly (2-vinylpyridine) comb-type graft copolymer using the "grafting through" by free radical polymerization and atom transfer radical polymerization. *Journal of Polymer Research*, 30(1), 22.
- Tunca, U., Erdogan, T., and Hizal, G. (2002). Synthesis and characterization of well-defined ABC-type triblock copolymers via atom transfer radical polymerization and stable free-radical polymerization. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 40, 2025-2032.
- Altıntaş, O., Tunca, U., and Barner-Kowollik, C. (2011). Star and miktoarm star block (co)polymers via self-assembly of ATRP generated polymer segments featuring Hamilton wedge and cyanuric acid binding motifs. *Polymer Chemistry*, 2, 1146-1155.
- Öztürk, T., Savaş, B., Meyvacı, E., Kılıçlıoğlu, A., and Hazer, B. (2020). Synthesis and characterization of the block copolymers using the novel bifunctional initiator by RAFT and FRP technics: evaluation of the primary polymerization parameters. *Journal of Polymer Research*, 27, 76.
- Savaş, B., Öztürk, T., Meyvacı, E., and Hazer, B. (2020). Synthesis and characterization of comb-type graft copolymers by redox polymerization and "click" chemistry method. *SN Applied Sciences*, 2(2), 181.
- Dag, A., Durmaz, H., Demir, E., Hizal, G., and Tunca, U. (2008). Heterograft copolymers via double click reactions using one-pot technique. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 46(20), 6969-6977.
- Öztürk, T., and Hazer, B. (2010). Synthesis and characterization of a novel macromonomer Initiator for reversible addition fragmentation chain transfer (RAFT). Evaluation of the polymerization kinetics and gelation behaviors. *Journal of Macromolecular Science, Part A: Pure and Applied Chemistry*, 47, 265-272.
- Meyvacı, E., and Öztürk, T. (2022). Modification of poly (styrene-co-acrylonitrile) with tetrazine by inverse electron demand diels-alder reaction. *ChemistrySelect*, 7(22), e202200668.

- Kara, S. S., Ateş, M. Y., Deveci, G., Cetinkaya, A., and Kahveci, M. U. (2019). Direct synthesis of tetrazine functionalities on polymer backbones. *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*, 57(6), 673-680.
- Sruthi, P. R., and Anas, S. (2020). An overview of synthetic modification of nitrile group in polymers and applications. *Journal of Polymer Science*, 58(8), 1039-1061.
- Bagheri, B., Abdous, M., Aslzadeh, M. M., and Shoushtar, A. M. (2010). Efficient removal of  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Hg}^{2+}$  ions from industrial effluents by hydrolyzed/thioamidated polyacrylonitrile fibres. *Iranian Polymer Journal*, 19(12), 911-925.
- Arsalani, N., Rakh, R., Ghasemi, E., and Entezami, A. A. (2009). Removal of Ni(II) from synthetic solutions using new amine-containing resins based on polyacrylonitrile. *Iranian Polymer Journal*, 18(8), 623-632.
- Dąbrowski, A., Hubicki, Z., Podkościelny, P., and Robens, E. (2004). Selective removal of the heavy metal ions from waters and industrial wastewaters by ion-exchange method. *Chemosphere*, 56(2), 91-106.
- Şenkal, B. F., and Biçak, N. (2001). Glycidyl methacrylate based polymer resins with diethylene triamine tetra acetic acid functions for efficient removal of Ca(II) and Mg(II). *Reactive and Functional Polymers*, 49(2), 151-157.
- Biçak, N., Senkal, B. F., and Melekaslan, D. (2000). Poly(styrene sulfonamides) with EDTA-like chelating groups for removal of transition metal ions. *Journal of Applied Polymer Science*, 77(12), 2749-2755.
- Ren, Y., Abbood, H. A., He, F., Peng, H., and Huang, K. (2013). Magnetic EDTA-modified chitosan/SiO<sub>2</sub>/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> adsorbent: preparation, characterization, and application in heavy metal adsorption. *Chemical Engineering Journal*, 226, 300-311.
- Verma, M., Ahmad, W., Park, J. H., Kumar, V., Vlaskin, M. S., Vaya, D., and Kim, H. (2022). One-step functionalization of chitosan using EDTA: Kinetics and isotherms modeling for multiple heavy metals adsorption and their mechanism. *Journal of Water Process Engineering*, 49, 102989.
- Canlıdınç, R. S. (2022). Preconcentration of copper ions from aqueous solution using EDTA modified Prunus Dulcis L. Peels and determination by FAAS. *Düzce University Journal of Science and Technology*, 10(3), 1476-1488.
- Jawad, S. K., Hameed, S. M., and Hussain, S. A. (2017). Liquid ion exchange application for micro amount separation and determination of Ca(II) and Mg(II) as anions species with EDTA. *Oriental Journal of Chemistry*, 33(5), 2421-2429.
- Arsalani, N., and Hosseinzadeh, Z. M. (2005). Synthesis and characterization of EDTA functionalized polyacrylonitriles and their metal complexes. *Iranian Polymer Journal*, 14(4), 345-352.
- Deng, S., Bai, R., and Chen, J. P. (2003). Behaviors and mechanisms of copper adsorption on hydrolyzed polyacrylonitrile fibers. *Journal of Colloid and Interface Science*, 260(2), 265-272.
- Vargun, E., Abaci, U., Sankir, M., Usanmaz, A., and Guney, H. Y. (2014). Effect of LiClO<sub>4</sub> salt on dielectric properties of acrylonitrile-methyl methacrylate and acrylonitrile-isobutyl methacrylate copolymers. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 51(2), 156-164.
- Liu, H., Zhang, S., Yang, J., Ji, M., Yu, J., Wang, M., Cai, X., Yang, B., Xhu, C., and Xu, J. (2019). Preparation, stabilization and carbonization of a novel polyacrylonitrile-based carbon fiber precursor. *Polymers*, 11(7), 1150.
- Balci, Z., Akbulut, U., Toppare, L., Alkan, S., Bakir, U., and Yagci, Y. (2002). Immobilization of yeast cells in several conducting polymer matrices. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 39(3), 183-197.
- Çankaya, N., and Besci, G. (2018). Synthesis, characterization, thermal properties and reactivity ratios of methacrylate copolymers including methoxy group. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(3), 1155-1170.

## Analysis of Deck Deficiency of Ships Detained under the Black Sea Memorandum

Hakan KARATAŞ<sup>1</sup>, Muhammet BORAN<sup>2\*</sup>

### Abstract

The most common mode of international transport is by sea, which carries some inherent risks. In the global economy, 90% of goods are transported by sea. Port State Control ensures safety at sea, prevents ship pollution, enforces stricter rules for living and working conditions on board, and prevents the transport of substandard ships that don't comply with international maritime regulations. This study has established a correlation between the deck department deficiencies of detained vessels resulting from port state control inspections under the purview of the Black Sea Memorandum and the ship flags, ages, gross tonnages, types, classification societies, and inspecting countries. Within the scope of the research, the findings of the vessels detained between 2016 and 2018 were taken from the Black Sea Memorandum website. IBM SPSS Statistics 23 software has been used to evaluate the data. The research has discovered statistically significant relationships between detention reasons for ships due to deck deficiencies and various factors, such as ship type, age, flag, gross tonnage, classification society, and detaining country. The research results will guide seafarers, port and flag state control officers, and ship-owners in preventing maritime accidents and ship detentions.

**Keywords:** Black Sea MoU, Ship detentions, Port state control.

## Karadeniz Memorandumu Kapsamında Tutulan Gemilerin Güverte Bulgularının Analizi

### Öz

Deniz taşımacılığı uluslararası nakliyatada en yaygın kullanılan kendine ait bazı riskleri olan bir taşımacılık türüdür. Dünya ticaretinde taşınan malların yaklaşık %90'nı deniz yolu ile taşınmaktadır. Denizde can ve mal emniyeti, gemilerden kaynaklanan kirliliğin önlenmesi, gemide yaşam ve çalışma koşullarının iyileştirilmesine ilişkin daha katı kuralların uygulanması ve uluslararası denizcilik düzenlemelerine uymayan standart altı gemiler ile taşımacılığın önüne geçilmesi için oluşturulmuş denetleme mekanizmalarından biri de Liman Devleti Kontrolüdür. Bu çalışma ile Karadeniz Memorandumu kapsamında yapılan liman devleti denetimleri sonucu tutulan gemilerin, güverte eksikliklerinden kaynaklı tutulma nedenleri ile gemi bayrağı, gemi yaşı, grostonu, gemi tipi, klas kuruluşu ve denetim yapılan ülke arasındaki ilişki belirlenmiştir. Araştırma kapsamında 2016-2018 yılları arasında tutuklanan gemilere ait tutulma bilgileri Karadeniz Memorandumu web sayfasından alınmıştır. Verilerin değerlendirilmesi için IBM SPSS istatistik 23 programı kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, tutuklanan gemilerin, güverte eksikliklerinden kaynaklı tutulma nedenleri ile gemi bayrağı, gemi yaşı, grostonu, gemi tipi, klas kuruluşu ve denetim yapılan ülke arasında ilişkinin anlamlı olduğu belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarının, gemi insanları, liman ve bayrak devleti denetçileri ve gemi donatanları için deniz kazalarının ve gemilerin tutulmasının önlenmesi açısından yol gösterici olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Karadeniz Memorandumu, Gemi Tutulmaları, Liman Devleti Denetimleri.

<sup>1</sup>Ordu University, Department of Maritime Transportation and Management, Ordu, Türkiye, [hakankaratas@odu.edu.tr](mailto:hakankaratas@odu.edu.tr)

<sup>2</sup>Karadeniz Technical University, Department of Maritime Transportation and Management, Trabzon, Türkiye, [mboran@ktu.edu.tr](mailto:mboran@ktu.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 05.03.2024

Kabul/Accepted: 06.06.2024

Yayın/Published: 18.06.2024



## 1. Introduction

The first international study on maritime safety was conducted in 1914 after the Titanic disaster. These studies are constantly updated and developed in line with developing technological advances and demands. In order to carry out the work in a more organized manner, it was decided to establish the International Maritime Organization (IMO) in 1948. The first official meeting of the International Maritime Organization was held in 1959 (URL-1). Türkiye became a member of the International Maritime Organization in 1958 and started to implement and legalize the advisory decisions given by IMO according to the current conditions.

Port State Control (PSC) is the inspection of foreign ships in national ports, which effectively contributes to maritime safety and environmental protection. The ships have to meet both flag state requirements and international regulations. PSC inspection is the second line of defense against marine accidents and environmental contamination in the maritime domain, following flag state oversight. The PSC Memorandum of Understandings (MoUs) has allowed port governments to play a major role in ensuring that ships adhere to International Maritime Organization regulations. The Black Sea MoU, signed by the States bordering the Black Sea in 2000, assigns the supervision of inspections in this region. The memorandum states that each national authority will establish and maintain an effective structure for port state control to ensure that foreign merchant ships leaving its national ports comply with the regulations without posing a unique risk to any flag (Karataş, 2020; URL-2).

Several studies on various aspects of port state control have been conducted (Li and Wonham, 1999; Cariou and Wolf, 2015; Karataş, 2020; Çelik and Çakır, 2023). The several investigations concentrate on the ship-related elements found in the body of literature that could result in detention. In addition to ship age, ship type and flag are significant factors in detentions (Cariou et al., 2008). The type of ship, the flag state's performance, and the quantity of faults are the main causes of detentions (Xiao et al., 2020). In a study, it was concluded that Korean flagged ships were frequently detained as a result of PSC inspections due to their deficiencies. Within the scope of this research, it was observed that a higher rate of detention (44.2%) occurred in ships in the 20-25 age group. It was determined that the most deficiencies in the ships detained were about fire safety, lifesaving equipment and ship structure, respectively (Kim and Kong, 2008). 29,954 PSC inspections of foreign ships in countries covered by the Black Sea Memorandum between 2012 and 2017 were analyzed. The inspections revealed that the age of the ship was the primary reason for detention (Şanlıer, 2019).

In this research, the detention incidents recorded due to deficiencies on deck findings identified in the inspections carried out by the countries on the Black Sea between 2016 and 2018 were

examined, and the relations between the detentions and variables such as flag, age, gross tonnage, type, class of the ships and country that decided to detained it, were statistically analyzed.

## **2. Materials and Methods**

Data regarding ship detentions taken from the Black Sea MoU official website and covering the years 2016-2018, were used in this study.

### **2.1. Study Variables That Were Used**

The independent variables of the study include the ship's flag, age, gross tonnage type, classification society, and the country that carried out the detention. The dependent variables of the study are the reasons for detention that concern the deck department. The reasons for detention originating from the deck deficiencies within the scope of the Black Sea Memorandum are Certification and Documentation (CD), Structural Conditions (SC), Water/Weathertight (WW), Emergency Systems (ES), Radio Communication (RC), Cargo Operations (CO), Fire Safety (FS), Alarms (AL), Working and Living Conditions (WLC), Safety of Navigation (SN), Lifesaving Appliances (LSA), Dangerous Goods (DG), Pollution Prevention (PP), International Safety Management Code (ISM), Labour Conditions (LC), Others (O).

### **2.2. Evaluation of Data**

In this study, the Kruskal-Wallis test was used because there were more than two groups in the independent variables of the applied analyses (Kruskal, 1952). The chi-square and p-value were examined as a consequence of these tests to determine whether there was a significant association between the variables. Since the significance value of the analyses was taken as 95%, a p-value below 0.05 was considered statistically significant in the results. The Chi-square value was checked by looking at the Chi-square table. If the value obtained as a result of the analysis is greater than the value in the table, it is considered that the relationships between the variables are statistically significant (Sümbüloğlu and Sümbüloğlu, 1995).

## **3. Findings and Discussion**

The deck findings of the ships detained as a result of the PSC inspections carried out between 2016 and 2018 in the Black Sea Region countries and the distribution of these findings according to

the flags of the ships are shown in Table 1. The number of ships stated in the last column includes detentions of the same ship under different flags.

**Table 1.** The distribution of reasons for detentions according to ship's flag

Countries	Detention Deficiencies*																Total Reasons	Number of Ships
	CD	SC	WW	ES	RC	CO	FS	AL	WLC	SN	LSA	DG	PP	ISM	LC	O		
Antigua & Bar.	1	1	1	-	3	-	2	-	-	2	5	-	-	3	1	-	19	10
Vanuatu	1	2	1	3	4	-	7	-	-	3	5	-	-	4	1	-	31	9
Ukraine	1	2	5	1	1	1	4	-	-	7	3	-	-	5	5	-	35	8
Türkiye	6	5	4	10	3	1	14	1	2	17	16	-	-	10	1	-	90	41
Tanzania	29	14	8	13	12	1	18	1	8	27	20	1	-	15	5	-	172	33
Sierra Leone	13	1	6	3	5	1	11	-	-	27	24	-	-	14	4	-	109	30
Russia	6	6	9	9	4	1	5	-	1	19	6	-	-	12	1	-	79	25
Panama	37	14	15	27	22	1	62	3	6	80	72	1	-	26	14	-	380	109
Palau	6	1	6	7	1	-	13	1	-	9	10	-	-	8	3	-	65	15
Mongolia	4	4	3	-	-	-	4	-	1	1	1	1	-	1	-	-	20	5
Moldova	29	14	7	9	10	1	18	4	4	39	27	-	2	14	5	1	184	36
Marshall Islands	1	-	-	3	-	-	6	-	-	6	7	-	-	3	-	-	26	18
Malta	1	1	3	2	-	-	6	1	-	7	9	-	-	4	2	-	36	22
Liberia	-	-	2	1	-	-	8	-	1	3	12	-	-	2	3	-	32	20
Italy	-	-	-	1	-	1	1	-	-	2	4	-	-	2	1	-	12	8
Cook Islands	5	2	3	4	3	-	9	-	2	16	11	-	-	11	5	-	71	21
Congo	1	1	1	-	-	-	5	-	1	3	6	-	-	2	-	-	20	7
Comoros	11	5	7	3	10	1	18	-	2	20	19	-	-	9	5	-	110	29
Cambodia	9	2	2	4	5	-	3	-	1	3	6	-	-	2	-	-	37	6
Belize	6	4	3	4	6	-	5	1	1	8	8	-	-	5	2	-	53	17
Togo	24	10	10	10	7	-	27	-	1	31	18	-	-	17	8	-	163	36
Total	191	89	96	114	96	9	246	12	31	330	289	3	2	169	66	1	1 744	505

\*Certification and Documentation (CD), Structural Conditions (SC), Water/Weathertight (WW), Emergency Systems (ES), Radio Communication (RC), Cargo Operations (CO), Fire Safety (FS), Alarms (AL), Working and Living Conditions (WLC), Safety of Navigation (SN), Lifesaving Appliances (LSA), Dangerous Goods (DG), Pollution Prevention (PP), International Safety Management Code (ISM), Labour Conditions (LC), Others (O).

When the data specified in Table 1 is analysed, it is observed that, based on deficiencies in deck findings detained in the Black Sea region between 2016-2018, excluding ships from countries that experienced 10 or fewer detentions, 1744 deficiencies were identified on 505 different ships out of 16 deck finding control variables. While it was determined that 8 different ships with the Italian flag, to which the least detention clause was applied, were detained with 12 deficiencies, it was also determined that 380 different deficiencies were found in 109 different ships. Most of these were detected on Panama-flagged ships.

It has been determined that there is a statistically significant relationship between the detention deficiency and the flags of the ships inspected at the Black Sea Ports between 2016 and 2018 ( $p < 0.05$ ). It was observed that 380 out of the 1854 deficiencies were determined in Panama, while 184 were in Moldova and 172 in Tanzanian-flagged ships. On average, the majority of the defects that result in the detention of examined ships fall within the categories of lifesaving appliances and navigational safety. The most frequently identified deficiencies regarding navigational safety include

lights, daytime signals and sound signals, navigational publications and maps. It has been determined that the most common reasons for detention within the scope of the lifesaving equipment article are lifeboats, rescue boats and the stowage of rescue boats. Panama flagged ships were mostly detained within the scope of the Black Sea MoU between 2006 and 2012 (Mert, 2014). According to engine department findings within the scope of the Black Sea MoU, Panama flagged were detained the most (Uçar and Boran, 2023).

The number of detentions of ships according to their age ranges and the distribution of these detentions according to the inspected issues are shown in Table 2.

**Table 2.** Distribution of detention items according to the ages of ships between 2016 and 2018

Ship Age	Detention Deficiencies *																Total Reasons	Number of Ships
	CD	SC	WW	ES	FO	CO	FA	AL	WLC	SN	LSA	DG	PP	ISM	LC	O		
0-10	4	-	2	9	2	-	10	1	-	18	29	-	-	13	3	-	91	51
11-20	17	4	6	19	11	2	35	-	2	46	58	1	-	26	13	-	240	114
21-30	35	17	18	19	25	3	56	2	4	70	67	-	-	36	12	-	364	127
31-40	95	41	47	46	43	1	95	6	12	136	112	1	2	70	26	1	734	171
41+	49	32	26	26	23	3	59	5	14	72	59	2	-	35	20	-	425	95
Total	200	94	99	119	104	9	255	14	32	342	325	4	2	180	74	1	1.854	558

\*Certification and Documentation (CD), Structural Conditions (SC), Water/Weathertight (WW), Emergency Systems (ES), Radio Communication (RC), Cargo Operations (CO), Fire Safety (FS), Alarms (AL), Working and Living Conditions (WLC), Safety of Navigation (SN), Lifesaving Appliances (LSA), Dangerous Goods (DG), Pollution Prevention (PP), International Safety Management Code (ISM), Labour Conditions (LC), Others (O).

It was determined that the most detention occurred in 171 different ships belonging to the age range of 31-40. The least detention occurred on 51 different ships between the ages of 0-10. In the study, as a result of the PSC inspections carried out on ships up to 30 years old, the deck department deficiencies that cause the most concern are the issues related to lifeboats, rescue boats, and ISM within the scope of the lifesaving appliances item. It was established that there was a statistically significant relationship between ship age and deficiencies that caused detention ( $p < 0.05$ ). Studies have demonstrated that the deficiencies identified in the detained ships were related to the ship flag, ship age, and ship type (Cariou et al., 2008). Cariou and Wolff (2015) determined that detention rates decrease as ship age decreases. In another research, it was discovered that accident probabilities vary according to ship types and ship age is important for the occurrence of very serious accidents (Knapp and Frances, 2007). In her study (Şanlıer, 2019), the age of the ship was determined to be the greatest factor in the detention of ships.

Among the 558 different ships at ports in the Black Sea Region between 2016 and 2018, 783 detention items were found for 186 ships of 3,000 gross tonnage and below, 757 detention items were found for 229 ships between 3,000 and 10,000 gross tonnage, and 314 detention items were found for 143 ships larger than 10,000 gross tonnage (Table 3).

**Table 3.** The number and distribution of detentions based on the gross tonnage of ships.

Gross Tonnage	Detention Deficiencies *																Total Reason	Number of Ships
	CD	SC	WW	ES	RC	CO	FS	AL	WLC	SN	LSA	DG	PP	ISM	LC	O		
<3.001	108	51	54	49	49	5	102	5	21	121	105	3	2	79	28	1	783	186
3.000-10.000	73	34	34	36	39	3	113	9	7	162	144	-	-	67	36	-	757	229
>10.000	19	9	11	34	16	1	40	-	4	59	76	1	-	34	10	-	314	143
Total	200	94	99	119	104	9	255	14	32	342	325	4	2	180	74	1	1.854	558

\*Certification and Documentation (CD), Structural Conditions (SC), Water/Weathertight (WW), Emergency Systems (ES), Radio Communication (RC), Cargo Operations (CO), Fire Safety (FS), Alarms (AL), Working and Living Conditions (WLC), Safety of Navigation (SN), Lifesaving Appliances (LSA), Dangerous Goods (DG), Pollution Prevention (PP), International Safety Management Code (ISM), Labour Conditions (LC), Others (O).

It has been determined that there is a statistically significant relationship between ship gross tonnage and deficiencies identified in detention items ( $p < 0.05$ ). Detention of ships with a gross tonnage below 3,000 commonly includes deficiencies identified in the charts and navigation publications within the scope of ISM and navigation safety. It has been found that issues such as lifeboats, ISM, lights, daytime signals and, sound signals, navigational safety are the most frequently identified deficiencies for ships between 3,000 and 10,000 gross tons. In a study carried out by Mert (2014), it was established that ship detention and ship accidents are related to criteria such as the type, age, and gross tonnages of the ship.

In the statistical test (Chi-square) performed to determine whether there is a relationship between ship types and the reasons for detention, it was determined that there was a significant relationship between these variables ( $p < 0.05$ ). When looking at the distribution of ships detained according to their types, it was determined that general cargo ships were detained (340) the most. While this was followed by bulk carriers with 125 ships, it was found that the least detention occurred in container ships with 12 ships (Table 4). Different ship types were detained for different reasons.

**Table 4.** Reasons and numbers of detention according to ship type

Type of Ship	Detention Deficiencies *																Total Reason	Number of Ship
	CD	SC	WW	ES	RC	CO	FS	AL	WLC	SN	LSA	DG	PP	ISM	LC	O		
Container	-	1	2	-	-	-	5	1	-	4	4	-	-	2	-	-	19	12
Tanker	11	7	4	3	2	2	10	-	1	18	17	-	-	7	4	-	86	40
Ro-Ro	9	11	6	4	3	2	12	-	2	10	11	-	-	5	5	-	80	20
Bulk	18	6	11	25	13	-	39	1	3	57	82	-	-	28	9	-	292	125
General cargo	151	67	73	78	76	5	179	11	23	233	203	4	2	126	55	1	1.287	340
Others	11	2	3	9	10	-	10	1	3	20	8	-	-	12	1	-	90	21
Total	200	94	99	119	104	9	255	14	32	342	325	4	2	180	74	1	1.854	558

\*Certification and Documentation (CD), Structural Conditions (SC), Water/Weathertight (WW), Emergency Systems (ES), Radio Communication (RC), Cargo Operations (CO), Fire Safety (FS), Alarms (AL), Working and Living Conditions (WLC), Safety of Navigation (SN), Lifesaving Appliances (LSA), Dangerous Goods (DG), Pollution Prevention (PP), International Safety Management Code (ISM), Labour Conditions (LC), Others (O).

Classification societies are independent organizations that inspect and monitor ships in order to meet the minimum safety requirements of ships, ensure their technical suitability and durability, prevent environmental pollution and ensure health issues (URL-3). Table 5 provides the distribution of the ships examined and detained within the scope of this study according to their classification societies and the numbers of the deficiencies that caused their detention. Total written under 10 items are not included in the Table. According to the classification societies, the ships classified by the Japanese Classification Society (Class NK) were the most frequently detained. 56 defective deficiencies in the 23 ships classified by Turkish Lloyd were found.

**Table 5.** Distribution of detention deficiencies according to ships' classification societies

Classification Societies	Detention Deficiencies *																Total Reason	Number of Ships
	CD	SC	WW	ES	RC	CO	FS	AL	WLC	SN	LSA	DG	PP	ISM	LC	O		
American Bureau of Shipping	1	1	0	2	1	0	2	0	0	3	5	0	0	3	1	0	19	11
Turkish Lloyd	4	3	1	3	3	1	8	1	0	10	12	0	0	8	2	0	56	23
Shipping Register of Ukraine	16	10	12	6	7	1	26	0	3	19	19	0	0	12	8	0	139	31
Russian Mar. Reg. of Ship.	13	9	13	15	8	1	17	0	3	31	16	0	0	21	3	0	150	51
RINA Services S.p.A.	2	1	0	3	2	0	5	1	0	14	18	0	0	4	1	0	51	24
Polski Rejestr Statkow	3	2	4	3	0	0	9	0	0	17	15	0	0	5	3	0	61	16
Phoenix Register of Shipping	12	8	7	3	8	0	12	2	3	21	14	0	0	6	5	0	101	20
Panama Mar. Doc. Services	0	0	3	0	1	0	4	1	0	2	3	0	0	0	1	0	15	2
Overseas Marine Cert. Services	3	0	1	1	4	0	0	0	1	3	1	0	0	1	0	0	15	2
Venezuelan Reg. of Ship.	2	2	3	4	2	0	4	0	2	9	8	0	0	4	3	0	43	13
Indian Register of Shipping	2	1	0	0	0	1	3	0	0	2	6	0	0	0	0	0	15	6
Int. Naval Surveys Bureau	3	3	2	3	7	0	13	1	1	11	3	0	0	6	4	0	57	17
Int. Register of Shipping	4	2	1	3	0	0	7	1	0	2	5	0	0	3	7	0	35	11
Isthmus Bureau of Shipping,	2	2	2	0	0	0	6	0	2	0	6	0	0	0	1	0	21	6
Korean Register of Shipping	1	0	0	0	0	0	3	0	0	0	5	0	0	0	1	0	10	6
Maritime Lloyd Ltd, Georgia	0	0	0	2	2	0	3	0	0	5	6	0	0	2	1	0	21	6
Maritime Lloyd	8	7	1	4	4	1	6	0	2	11	8	0	0	7	4	0	63	16
Maritime Bureau of Shipping	2	1	3	0	1	0	3	0	0	6	4	0	0	1	0	0	21	5
Nippon Kaiji Kyokai	20	9	7	22	12	0	33	0	1	41	40	0	0	22	6	0	213	90
Macosnar Corporation	2	2	1	2	1	0	8	0	1	7	6	0	0	2	1	0	33	5
Med. Shipping Register	2	3	1	1	3	1	2	0	1	3	6	0	0	1	1	0	25	6
National Shipping Adjuster Inc.	5	2	4	3	2	0	2	0	1	3	1	0	0	0	0	0	23	4
Lloyd's Register	1	0	2	2	1	0	4	0	0	3	12	0	0	4	3	0	32	19
Guardian Bureau of Shipping	2	0	0	2	1	0	0	0	0	2	2	0	0	1	0	0	10	1
Dromon Bureau of Shipping	17	3	8	6	6	1	19	0	0	34	21	0	0	17	3	0	135	37
DNV GL AS	3	0	0	1	1	0	4	1	1	7	16	1	0	3	0	0	38	21
Cosmos Marine Bureau Inc.	6	0	2	3	2	0	4	0	0	5	5	0	0	3	1	0	31	4
Columbus American Register	4	2	0	0	1	0	1	0	0	2	2	0	0	2	0	0	14	3
Bureau Veritas	8	3	4	7	9	1	13	1	0	27	25	0	0	13	9	0	120	59
Bulgarian Register of Shipping	18	7	2	10	8	0	13	2	3	20	15	0	2	14	3	1	118	23
ASIA Classification Society	2	2	2	0	1	0	2	0	0	1	4	0	0	3	0	0	17	2
Others	26	8	9	3	5	1	13	3	5	14	12	2	0	9	0	0	110	24

\*Certification and Documentation (CD), Structural Conditions (SC), Water/Weathertight (WW), Emergency Systems (ES), Radio Communication (RC), Cargo Operations (CO), Fire Safety (FS), Alarms (AL), Working and Living Conditions (WLC), Safety of Navigation (SN), Lifesaving Appliances (LSA), Dangerous Goods (DG), Pollution Prevention (PP), International Safety Management Code (ISM), Labour Conditions (LC), Others (O).

It was determined that there was a statistically significant relationship between the classification societies and deficiencies that caused the detention of ships ( $p < 0.05$ ). Differences throughout the different PSC regimes are in particular the Paris MOU members' heightened focus on matters pertaining to safety, stability, or structure (Knapp and Velden, 2009).

The distribution of ships detained in the Port State Controls conducted between 2016 and 2018 at the ports of the countries in the Black Sea region, based on the countries inspected, is displayed in Table 6. Upon examining Table 6, the greatest number of deck deficiencies resulting in detention, totaling 608, was found in 278 ships visiting Russian ports. Romania follows this with 598 detention deficiencies that were found on 130 ships, while 154 detention deficiencies have been detected on 44 ships docked at Turkish ports (Table 6). It is seen that the most defective findings are applied in Bulgarian and Georgian ports for certificates and certification, in Romanian ports for navigational safety, and in Russian and Turkish ports for deficiencies related to life-saving appliances.

**Table 6.** Deficiency of detention according to the port states that carried out the detention

Country	Detention Deficiencies *																Total Reason	Number of Ships
	CD	SC	WW	ES	RC	CO	FS	AL	WLC	SN	LSA	DG	PP	ISM	LC	O		
Türkiye	18	15	13	15	14	1	20		5	17	28	2	-	6	-	-	154	44
Russia	24	35	30	4	30	4	105	4	2	118	186	1	-	16	49	-	608	278
Georgia	41	2	4	2	7	-	13	8		23	22	-	2	22	-	1	147	54
Romania	67	13	27	98	36	-	49	1	10	146	39	-	-	107	5	-	598	130
Bulgaria	19	6	15	-	2	3	18	-	1	17	14	1	-	17	18	-	131	28
Ukraine	31	23	10	-	15	1	50	1	14	21	36	-	-	12	2	-	216	80
Total	200	94	99	119	104	9	255	14	32	342	325	4	2	180	74	1	1.854	614

\*Certification and Documentation (CD), Structural Conditions (SC), Water/Weathertight (WW), Emergency Systems (ES), Radio Communication (RC), Cargo Operations (CO), Fire Safety (FS), Alarms (AL), Working and Living Conditions (WLC), Safety of Navigation (SN), Lifesaving Appliances (LSA), Dangerous Goods (DG), Pollution Prevention (PP), International Safety Management Code (ISM), Labour Conditions (LC), Others (O).

It seems that there are differences among port states based on the deficiencies that lead to detention. Bulgaria and Romania, the two European Union (EU) countries in the agreement, have different priorities than other countries and each other. It is thought that the differences between countries depend on the evaluation of the auditors conducting the audit, the existence of countries subject to more than one memorandum, and the implementation differences of extended audit campaigns on a country-by-country basis. In a study, the main factors causing retention are the age of the ship, the location where the inspection takes place, and the type of ship (Cariou et al., 2008). In another research, it was found that there are differences in approach among the countries that carry out inspections (Şanlıer, 2019).

#### 4. Conclusions and Recommendations

Within the scope of the research, it was determined that there was a statistically significant relationship between the flags, ages, gross tonnages, types, classification societies of ships, countries of the ports where PSC is performed, and the deck department deficiencies that caused detention. It was observed that 109 of the 505 ships detained during the time period covered by this study were Panama-flagged, while 41 Turkish-flagged ships were detained due to deficiencies identified in a total of 90 items. It can be said that the widespread detention of Panama-flagged ships is due to the maritime authorities of other states accepting the extra privileges provided to these ships by the Panamanian State as a deficiency. It has been observed that the most deficiencies in navigational safety, lifesaving appliances, and fire safety items were identified in the ships that were detained as a result of PSC inspections at the ports of the Black Sea countries. When the distribution of the ships detained during the study period according to their ages was examined, it was determined that the most detentions were applied to the ships in the 31-40 age group, with 171, and the number of detentions decreased as the age of the ship decreased. In addition, it can be said that the reason for the detention being applied to 95 ships in the 41+ age group may be due to the low number of ships in this age group calling at the Black Sea Ports. According to the results obtained in the study, it was seen that the number of detentions was higher in ships of 3,000 gross tonnage and below. The most common consideration on these ships is navigational safety. When examining the relationship between ship type and the number of ships detained and the reasons for detention, it was determined that the most detentions were applied to general cargo ships, followed by bulk cargo ships. The most deficiencies were reported in navigational safety in both ship types. The number of ships detained varied according to ship classification societies. Most detentions were made on ships classified by the Nippon Kaiji Kyokai (NKK) in Black Sea ports.

There is a significant relationship between the countries that conduct PSC inspections and where detentions are made and the reasons for detention. The country that makes the most detentions is Russia, followed by Romania, Ukraine, Turkey, Georgia, and Bulgaria. There were differences among port states according to the deficiencies that cause detention. It has been determined that Bulgaria and Romania, the two EU countries in the Black Sea MoU, have different priorities compared to other countries and each other. The main reasons for detention in Bulgarian ports were ISM, water/weather tightness, and circuits within the scope of water and air tightness, and voyage planning within the scope of navigational safety. In Romanian ports, ISM, fire drills within the scope of emergency systems, and navigational publications within the scope of navigation safety were determined as the most common deficiencies. When these two countries are examined in detail, it is seen that both of them give priority to the Safe Management System compared to other countries.



The differences between countries depend on the evaluation of the auditors conducting the audit, the existence of countries subject to more than one memorandum, and the implementation differences of extended audit campaigns on a country basis.

### **Authors' Contributions**

All authors contributed equally to the study.

### **Statement of Conflicts of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

### **Statement of Research and Publication Ethics**

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

### **References**

- Cariou, P., Mejia Jr, M. Q., and Wolff, F. C., (2008). On the effectiveness of Port State Control inspections. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 44, 491-503.
- Cariou, P., and Wolff, F.C., (2015). Identifying substandard vessels through port state control inspection: A new methodology for concentrated inspection campaigns. *Marine policy*, 60, 27-39.
- Çelik B., and Çakır, E., (2023). Differences in deficiency types causing ship detentions at the Black Sea Region during the Covid-19 pandemic and pre-pandemic. *Marine Policy*, 151, 105553.
- Karataş, H., (2020), *Analysis of Deck Department Deficiencies of Turkish and Foreign Flag Ships in Black Sea Memorandum of Understanding*. Master Thesis, Karadeniz Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Trabzon.
- Kim, G., and Kong, G., (2008). Forecasting model for Korean ships' detention in Port State Control. *Journal of Navigation and Port Research*. College of Maritime Science, National Korea Maritime University. 32, 729-736.
- Knapp, S., and Frances, P. H., (2007). Econometric analysis on the effect of port state control inspections on the probability of casualty: Can targeting of substandard ships for inspections be improved. *Marine Policy*, 31, 550-563.
- Knapp, S., and Velden, M., (2009). Visualization of differences in treatment of safety inspections across port state control regimes: a case for increased harmonization efforts. *Transport Reviews*, 29(4), 499–514.
- Kruskal, W. H., (1952). A nonparametric test for the several sample problems. *The Annals of Mathematical Statistics*, 23, 525-540.
- Li, K. X., and Wonham, J., (1999). Who is safe and who is at risk: a study of 20-year-record on accident total loss in different flags. *Maritime Policy & Management*, 26, 137-144.
- Mert, A., (2014). *Relationship between detention of ships on Black Sea Memorandum inspections and vessel accidents*. Master Thesis, Karadeniz Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Trabzon.
- Sümbüloğlu, K., and Sümbüloğlu, V., (1995), *Biyoistatistik*, 6. Baskı, Özdemir Yayıncılık, Ankara.
- Şanlıer, Ş., (2020). Analysis of port state control inspection data: The Black Sea Region. *Marine Policy*, 112, 1-11.

- Uçar, O.F., and Boran, M., (2023), Analysis of machine deficiencies of ships detained under the Black Sea Memorandum. *The Black Sea Journal of Sciences*, 13(2), 601-611.
- URL-1, [www.imo.org](http://www.imo.org), (Date Accessed: 6 March 2020).
- URL-2, [www.bsmou.org](http://www.bsmou.org), (Date Accessed: 6 March 2020).
- URL-3, [www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/09\\_AdaletHizmetleriveGuvencuk.pdf](http://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2018/11/09_AdaletHizmetleriveGuvencuk.pdf). T.C.Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013. (Date Accessed: 6 March 2020).
- Xiao Y., Wang G., Lin K.C., Qi G., and Li K.X., (2020), The effectiveness of the new inspection regime for port state control: application of the Tokyo MoU. *Marine Policy*, 115 (3), 103857.

## **Pasif ve Aktif Olarak Ok Açılı ve Anhedralli Pal Ucu Şekli Başkalaşan Helikopterin Kontrol Sistemi ile Beraber Eş Zamanlı ve Rassal Yeniden Tasarımı**

Fırat ŞAL<sup>1\*</sup> 

### **Öz**

Bu araştırma yayınında pal ucundaki ok açısı ve anhedrali uçuş öncesinde pasif, uçuş sırasında ise aktif olarak başkalaşım yeteneğine sahip bir insanlı helikopterin otomatik uçuş kontrolünü sağlayan kontrol sistemi ile biraz önce bahsedilen başkalaşan parametrelerinin başkalaşım mekanizmaları eş zamanlı olarak rassal optimizasyon yöntemi ile yeniden tasarlanmaya çalışılıp en ekonomik bir şekilde otonom uçuşun sağlanması amaçlanmıştır. Bu çalışmada uçuş kontrol sistemi içinde varyans kısıtlı kontrolcüler, spesifik olarak çıkış varyansı kısıtlı kontrolcü kullanılmıştır. Rassal optimizasyon yöntemi olarak SPSA yani eş zamanlı pertürbasyon rassal yaklaşımlar kullanılmıştır. Pale ucu geometrisinin ve helikopter otomatik uçuş kontrol sisteminin eş zamanlı tasarımı sonucunda kontrol çabasından oluşan maliyet fonksiyonunda, pasif ve aktif başkalaşımın beraber ele alındığı durumda bu başkalaşım yöntemlerinin tek tek ele alındığı duruma göre çok daha fazla tasarruf sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Helikopter, Rassal optimizasyon, Pale, Ok açısı, Anhedral, Uçuş kontrol sistemi.

## **Simultaneous and Stochastic Passively and Actively Morphing Swept Anhedral Helicopter Blade Tip Shape and Control-System Redesign**

### **Abstract**

In this research article a helicopter having blade tip swept angle and anhedral in both passive before flight and active during flight morphing cases and its automatic flight control system are simultaneously designed with stochastic optimization method and morphing mechanisms of previously mentioned features so that the most economical autonomous flight is satisfied. In this study inside of the flight control system variance constrained controllers specifically output variance constrained controller are used. As a stochastic optimization method SPSA (i.e., simultaneous perturbation stochastic approximation) is used. As a result much more control effort save is obtained when both passive and active morphing approaches are applied with respect the situation that one of these two morphing approaches are applied on simultaneous design of blade tip geometry and helicopter automatic flight control system.

**Keywords:** Helicopter, Stochastic optimization, Blade, Swept angle, Anhedral, Flight control system.

<sup>1</sup>İskenderun Teknik Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Hatay, Türkiye, [firat.sal@iste.edu.tr](mailto:firat.sal@iste.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

**Geliş/Received:** 11.04.2024

**Kabul/Accepted:** 05.06.2024

**Yayın/Published:** 18.06.2024

## 1. Giriş

Son yıllarda uçuş kontrol sistemlerinin kontrol çabalarını azaltmak adına yeniden tasarım ve/veya eş zamanlı tasarım yaklaşımlarına başvurmada önemli gelişmeler ve ilerlemeler yaşanmıştır. Helikopterlerde bu yeniden tasarım yaklaşımlarının en önemlilerinden biri hareketli yatay kuyruk takımı kullanmaktır. Bu yaklaşımda yatay kuyruk helikopter uzunlamasına eksenine göre kolektif ve diferansiyel sapmalar yapmakla beraber, helikopter uzunlamasına ekseninde ileri/geri hareketlerde gerçekleştirilmektedir (bknz. Sherry, 1953; Stuart, 1961; Howlett, 1981; Bluman ve Gandhi, 2011; Oktay ve Şal, 2015; Oktay ve Sultan, 2013a). Bir diğer tasarım yaklaşımı helikopter ana rotor palelerinin bazı özelliklerini yeniden tasarlamaktır. Bu özelliklerden bazıları pale uzunluğu, pale veter uzunluğu, ana rotor açısız hızı ve pale burulma açısıdır. Bu değişimler uçuş öncesinde gerçekleşiyor ise bu durum literatürde pasif başkalaşım olarak adlandırılmaktadır. Eğer ki biraz önce bahsedilen özellikler uçuş sırasında sürekli bir şekilde değiştirilebiliyor ise bu durum literatürde aktif başkalaşım olarak adlandırılmaktadır. Örneğin Oktay ve Sultan, 2014’de spesifik bir helikopter olan Puma SA 330 modeli için kontrol çabasını azaltmakta pasif başkalaşım yöntemi çok başarılı bulunmuştur. İlgili bu araştırma makalesinde pasif olarak başkalaşan özellikler ana rotor pale uzunluğu, pale veter uzunluğu, açısız hızı, pale burulması, pale doğrusal kütle yoğunluğu ve pale çarpınma yayı esnekliğidir. Biraz önce bahsedilen yenilikçi pasif başkalaşım yaklaşımını kullanarak helikopter uçuş kontrol sisteminin kontrol çabasında 40 kt’lık düz seviye uçuşu durumunda yaklaşık %33’lük kazanç elde edilmiştir. Ayrıca Ganguli, 2002’de yine özel bir helikopter olan Puma SA 330 modeli için kontrol çabasını düşürmekte aktif başkalaşım yöntemi yine oldukça başarılı bulunmuştur. Bu araştırma makalesinde ise aktif olarak başkalaşan özellikler ana rotor pale uzunluğu, pale veter uzunluğu, açısız hızı ve pale burulmasıdır. Az önce bahsedilen yenilikçi aktif başkalaşım yaklaşımını kullanarak helikopter uçuş kontrol sisteminin kontrol çabasında 40 kt’lık düz seviye uçuşu durumunda yaklaşık %85’lik bir kazanç sağlanmıştır. Farklı yeniden tasarım ve/veya eş zamanlı tasarım yaklaşımları ve pasif ve/veya aktif başkalaşım uygulamaları için ayrıca Referanslar Fusato ve Celi, 2006; Hodges ve ark. 2008; Kang ve ark., 2010; Barbarino ve ark., 2011; Vu ve ark., 2013; Kambampati ve Ganguli, 2016; Stalewski ve Zalewski, 2019; Shahmiri ve ark., 2019; Şal, 2020; Desopper ve ark., 1987; Marques ve ark., 2013; Brocklehurst ve Barakos, 2013 ziyaret edilebilir.

Helikopter ana rotoru pale ucu ok açısı ve pale ucu anhedrali üzerine helikopter literatüründe son zamanlarda farklı amaçları gözeterek çok sayıda araştırma gerçekleştirilmiştir. Bu akademik makale çalışmasında az önce bahsedilen helikopter ana rotoru pale ucu ok açısı ve pale ucu anhedrali hem pasif hem de aktif başkalaşım durumlarının bir arada olduğu durumda ele alınmıştır. Örneğin Referans Xie ve ark., 2017’de ok açılı ve anhedralli pale ucu geometrisi bir helikopterde düz seviye uçuşu esnasında helikopter performansını iyileştirmek adına araştırılmıştır. Bu ilgili çalışmada

aerodinamik ve akustik sonuçlar hem teorik hem de deneysel olarak bulunmuştur. Sonuç olarak helikopter rotorunu çalıştırmak adına gereken güçte sırası ile askıda kalma ve düz seviye uçuşları esnasında neredeyse % 7 lik ve %10 luk azalmalar elde edilmiştir. Ayrıca 1 dB derecelerinde bir gürültü oranında azalma ok açılı ve anhedralli pale ucu geometrisi sayesinde elde edilmiştir. Bunun dışında bir diğer çalışmada Referans Imiela, 2012’de Tunus menşeli bir havacılık teknolojileri ve endüstrileri firması tarafından geliştirilen Jihni askeri döner kanat İHA’sının aerodinamik performansını optimize etmek adına ok açılı ve anhedralli pale ucu geometrisi değerlendirilmiştir. Ok açılı ana rotor pale ucu geometrisi düz seviye uçuşu esnasında sıkıştırılabilirlik etkilerini azaltmak adına faydalanılmıştır. Öte yandan ilave olarak anhedralli ana rotor pale ucu geometrisi kontrol yüklerini azaltmakta fayda sağlayan yunuslama momentini değiştirmek adına faydalanılmıştır. Aerodinamik performans açısından ok açılı ve anhedralli ana rotor pale ucu geometrisi kullanımı oldukça faydalı bulunmuştur. Bir diğer inceleme makalesinde ise Referans Droandi ve Gibertini, 2015’de ok açılı ve anhedralli ana rotor pale ucu geometrisini de içeren helikopter ana rotor pale ucu şekilleri yeni pale ucu tasarımlarının performans üzerindeki etkilerini değerlendirmek üzere incelenmiştir. Bu çalışmada ok açılı ve anhedralli ana rotor pale ucu geometrisi kullanımı aerodinamik, yapısal ve akustik yönlerden oldukça faydalı bulunmuştur. Bunların dışında farklı bir araştırma makalesinde ise Referans Garipova, 2016’da helikopter askıda uçuş ve düz seviye uçuşu esnaslarında, ok açılı ve anhedralli ana rotor pale ucu şekillerini de kapsayan birçok pale tasarımı özelliğini aerodinamik performansı iyileştirmek adına bir küresel optimum zarf yöntemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada ok açılı ve anhedralli ana rotor pale ucu geometrisi kullanılarak aerodinamik performansta kayda değer önemli iyileşmeler elde edilmiştir. Örneğin, ok açılı ve anhedralli ana rotor pale ucu geometrisi kullanıldığında havada ana rotoru döndürmek adına harcanan güç sarfiyatında yaklaşık %7,2 dolaylarında bir düşüş elde edilmiştir (farklı maksatlarla ok açılı ve anhedralli ana rotor pale ucu geometrisi uygulamaları için ayrıca Referanslar Imiela, 2012; Droandi ve Gibertini, 2015; Garipova, 2016; Baily ve ark., 2017 ziyaret edilebilir).

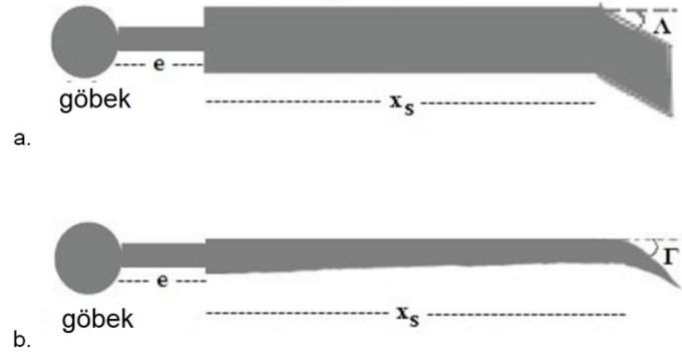
Son zamanlarda ilgili literatürde helikopter uçuş kontrol sistemleri adına çok sayıda farklı kontrol tekniği uygulanmıştır. Varyans kısıtlı kontrolcüler bu kontrol tekniklerinden bazılarıdır (detaylar için Referans Oktay ve Sultan, 2013b ziyaret edilebilir) ve bu tipteki kontrolcüler bu araştırma makalesi kapsamında kendi helikopter uçuş kontrol sistemimize uygulanmıştır. Bu tip kontrol sistemleri kontrol teorisi literatüründe var olan diğer mevcut popüler kontrol tekniklerine göre birçok avantaja sahiptirler. İlk olarak varyans kısıtlı kontrolcüler iyileştirilmiş LQG kontrol sistemleridir ve durum kestirimcisi olarak Kalman filtreleri kullanırlar. İkinci olarak ikinci dereceden bilgi ortaya koyarlar ve bu tarz bilgi çok değişkenli kontrol sistemi tasarımında oldukça pratiktir çünkü bütün kararlı hale getirici kontrol sistemleri fiziksel olarak anlamlı durum kovaryans matrisine göre parametrize edilmişlerdir (ikinci derece bilgi için Referanslar Skelton ve Lorenzo, 1985; Skelton

ve Sultan, 1997 ziyaret edilebilir). Son olarak büyük ve güçlü bir şekilde akuple çok-giriş çok-çıkışlı (ÇGÇÇ) sistemlerde örneğin helikopter uçuş kontrol sistemlerinin içinde olduğu gibi, bu tip varyans kısıtlı kontrolcüler bağımsız değişkenlerin anlık davranışının güvencesini bu değişkenlerin varyansları üzerinde üst limitler uygulayarak tahsis eder. Bu araştırma makalesinde spesifik olarak kullanılan varyans kısıtlı kontrolcü OVC'dir (çıkış varyansı kısıtlı kontrolcü) ve helikopter uçuş kontrol sistemi üzerine bu çeşitli avantajlarından dolayı uygulanmıştır.

Bu araştırma makalesi kapsamında sadece pasif veya sadece aktif başkalaşımı kullanmak yerine hem pasif hem de aktif başkalaşımı bir arada kullanma yoluna gidilmiştir. Pasif başkalaşım helikopter tasarım özelliklerinin sadece uçuş öncesinde ayarlanmasına müsaade eder iken, aktif başkalaşım ilgili bu özelliklerin uçuş esnasında sürekli bir şekilde değişimine imkân tanımaktadır. Bu araştırma makalesi kapsamında literatürde ilk defa ok açılı ve anhedralli ana rotor pale ucu geometrisine sahip helikopterlerde pasif ve aktif başkalaşım bir arada, bu başkalaşım yaklaşımlarının sadece birinin kullanıldığı duruma göre daha fazla kontrol çabası tasarrufu sağlamak adına ilk defa uygulanmıştır. Ayrıca uygun değer kontrol çabasını saptama adına rassal bir optimizasyon yöntemi eş zamanlı pertürbasyon rassal yaklaşım (genel olarak bilinen adı SPSA) literatürde ilk defa uygulanmıştır.

## 2. Kullanılan Helikopter Modelleri ve Pal Tasarım Parametreleri

Bu araştırma makalesinde faydalanılan helikopter modellerinin özellikleri ile defa Referanslar Oktay ve Sultan, 2014 ve Ganguli, 2002'de sunulmuştur. Bu modellerin temel özellikleri kısaca şu şekilde özetlenebilir: Bu modeller temel fizik prensiplerini içermektedir ve modelleme sonucunda sonlu sayıda adi diferansiyel denklemlerden oluşan dinamik modeller elde edilmektedir. Biraz önce bahsedilen helikopter modelleri, gövde, kuyruk takımı, tam menteşeli dört paleli bir ana rotor, ana rotor aşağı saptırması ve kuyruk rotorunu içermektedir. Sonuç olarak 29 adet dinamik denklemden oluşan oldukça komplike bir model elde edilir (ayrıca Referanslar Oktay ve Sultan; 2013c; Oktay ve Sultan, 2013d; Oktay ve Sultan, 2015; Oktay ve Şal, 2015; Oktay ve Şal, 2016; Oktay ve Şal, 2017 detaylar için ziyaret edilebilir). Aşağıdaki şekilde ok açılı ve anhedralli bir helikopter ana rotor palesi görselleştirilerek sunulmuştur. Bu çalışmada helikopter literatüründe ilk defa hem pasif hem de aktif başkalaşım durumunda ok açılı ve anhedralli ana rotor pale ucu ile OVC kontrolcünden oluşan helikopter uçuş kontrol sistemi eş zamanlı olarak kontrol çabasını minimize etmek adına ilk defa uygulanmıştır.



**Şekil 1.** Ok açılı ve anhedralli ana rotor pale ucu geometrisi görselleştirilmesi.  
(a) Üstten görünüm (b) Yandan görünüm  
( $\Lambda$ : ok açısı,  $\Gamma$ : anhedral açısı)

### 3. Kullanılan Helikopter Uçuş Kontrol Sistemleri

Bu araştırma makalesinde helikopter uçuş kontrol sistemi olarak spesifik bir varyans kısıtlı kontrolcü olan çıkış varyansı kısıtlı kontrolcü yani OVC kullanılmıştır. OVC kontrolcülerini derinlemesine analizleri ve mevcut diğer kontrolcülere göre avantajları Referanslar Skelton ve Lorenzo, 1985; Skelton ve Sultan, 1997’de bulunabilir. Bu kontrolcülerin kısa bir tanımı şu şekilde yapılabilir: Verilen bir doğrusal, zamandan bağımsız, kararlı hale getirilebilir ve saptanabilir sistem için pozitif tanımlı bir giriş ceza matrisi mevcut iken tam dereceli dinamik bir kontrolcü aşağıdaki şekilde bulunmalıdır:

$$\min_{A_c, F, G} J = E_{\infty} u_p^T R u_p = tr(RGX_c G^T) \quad (1)$$

Ayrıca bu esnada çıkışlar üzerinde varyans kısıtlamaları da mevcuttur:

$$E_{\infty} y_i^2 \leq \sigma_i^2, \quad i = 1, \dots, n_y \quad (2)$$

### 4. Yeniden Tasarımda Kullanılan Optimizasyon Algoritması

Pal ucundaki ok açısı ve anhedrali uçuş öncesinde pasif uçuş sırasında ise aktif olarak başkalaşım yeteneğine sahip bir insanlı helikopterin otomatik uçuş kontrolünü sağlayan kontrol sistemi ile biraz önce bahsedilen başkalaşım parametrelerinin başkalaşım mekanizmaları eş zamanlı olarak tasarımı kontrol çabasını minimize ederken ki matematiksel durum aşağıda özetlenmiştir:

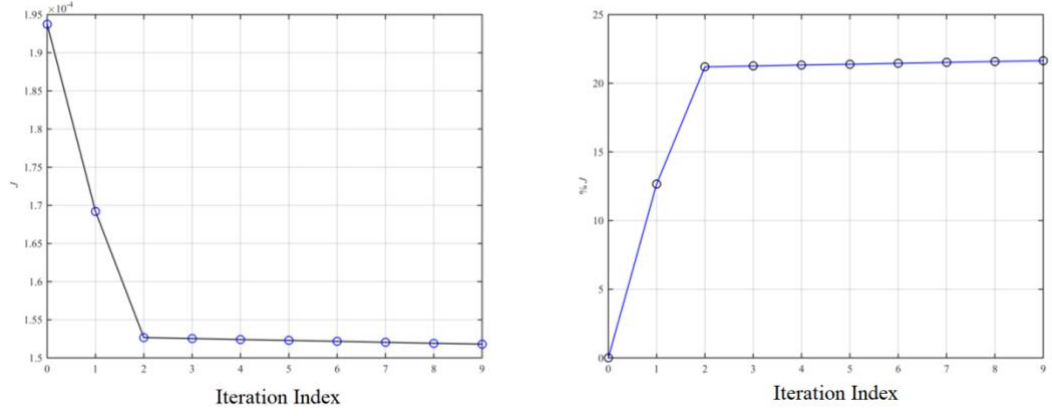
$$\min_{A_c, F, G, \Psi_t} J = E_{\infty} u_p^T R u_p \quad (3)$$

Bu esnada çıkışlar üzerinde Denklem (2) deki gibi kısıtlamalar mevcuttur. Ayrıca helikopter yapısal tasarım parametreleri pasif ve aktif durumlarda şu şekildedir:  $\Psi_t = \{\Lambda, \Gamma\}$ . Ayrıca bu parametreler üzerinde eş zamanlı tasarım sırasında şu şekilde kısıtlamalar da mevcuttur:  $\Psi_{t_{min}} \leq \Psi_{t_i} \leq \Psi_{t_{max}}$ . Bu karmaşık problem çözme adına bu makale çalışmasında rassal bir optimizasyon yöntemi olan SPSA yani eş zamanlı pertürbasyon rassal yaklaşımları kullanılmıştır (detayları için Referanslar Sadegh ve Spall, 1998; He ve ark., 2003 ziyaret edilebilir).

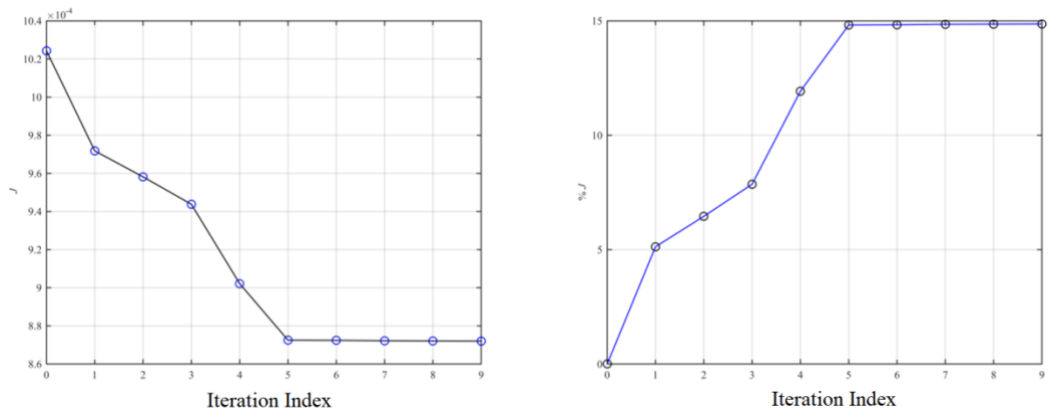
### 5. Pasif ve Aktif Başkalaşımın Birlikte Kullanımının Kontrol Çabasına Etkisi

Bu bölümde pal ucundaki ok açısı ve anhedrali uçuş öncesinde pasif uçuş sırasında ise aktif olarak başkalaşım yeteneğine sahip bir insanlı helikopterin, helikopter uçuş kontrol sistemi kontrol çabası üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla karmaşık ve kontrol amaçlı doğrusal helikopter modellerinden faydalanılmıştır (Referanslar Oktay ve Sultan; 2013c; Oktay ve Sultan, 2013d; Oktay ve Sultan, 2015; Oktay ve Şal, 2015; Oktay ve Şal, 2016; Oktay ve Şal, 2017 ziyaret ediniz) ve 80 knot'lık düz seviye uçuşu ele alınmıştır. Helikopter uçuş kontrol sistemi olarak OVC kontrolcüsünden faydalanılmıştır. Varyans kısıtı olarak helikopter Euler açıları üzerinde yani yuvarlanma, yunuslama ve sapma açıları üzerinde  $10^{-4}$  lük bir varyans kısıtı mevcuttur. Bu sırada girişler ise klasik 4 helikopter kontrolcüsüdür. Gürültü seviyeleri ise  $W=10^{-7}$  ve  $V=10^{-7}$  olarak seçilmiştir. Pale ucu ok açısı ve anhedral açısının başlangıç trim değerleri 20 derecedir. Ayrıca ok açılı ve anhedralli pale ucu başlangıçta palenin %75 inden sonra başlamaktadır. Bu üç pale ucu parametresi üzerindeki alt ve üst sınırlar ise alt={10 derece, 10 derece,  $0,7 \cdot R$ } and üst={30 derece, 30 derece,  $0,9 \cdot R$ } dir. Şekil 3'de pal ucundaki ok açısı ve anhedrali uçuş öncesinde pasif uçuş sırasında ise aktif olarak başkalaşım yeteneğine sahip bir insanlı helikopterin, helikopter uçuş kontrol sistemi kontrol çabası üzerindeki etkileri hem toplam hem de izafi olarak Şekil 3'de gösterilmiştir. Ayrıca optimum değerler olarak  $\Lambda_t=20.1018$  derece (ok açısı trim değeri),  $\Gamma_t=19.8968$  derece (anhedral açısı trim değeri),  $x_s=0.7146 \cdot R$ . Bu çalışmada izafi enerji tasarrufu ilişkisi kullanılarak bulunmuştur. Enerji tasarrufu değeri sadece pasif başkalaşımın kullanıldığı durumda  $\%J=\%21,6$  (bkz. Şal, 2022), sadece aktif başkalaşımın kullanıldığı durumda ise  $\%J=\%85$ 'dir (bkz. Şal, 2024). Fakat bu makale çalışmasında olduğu gibi pal ucundaki ok açısı ve anhedrali uçuş öncesinde pasif uçuş sırasında ise aktif olarak başkalaşım yeteneğine sahip bir insanlı helikopterin kontrol sistemi ile beraber eş zamanlı tasarımı sayesinde  $\%J=\%87,8$ 'lik bir enerji tasarrufu sağlanabilmiştir. Görüldüğü üzere en yüksek enerji tasarrufu hem pasif hem de aktif başkalaşımın bir arada kullanıldığı durumda elde edilmiştir.





a.

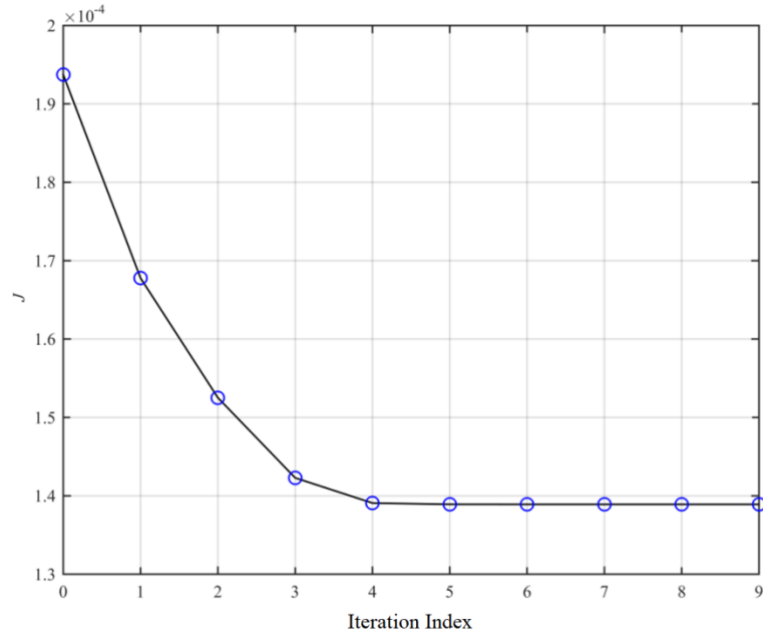


b.

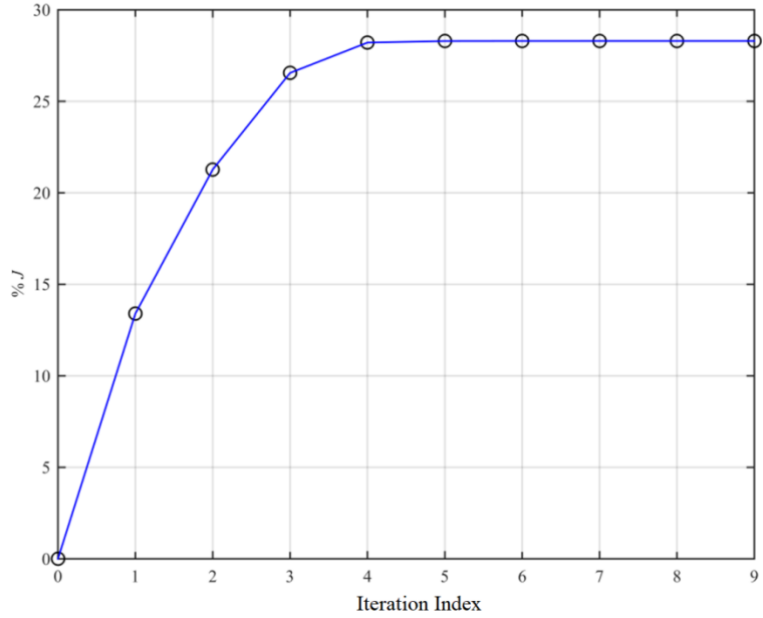
Şekil 2. Toplam ve izafi enerji tasarrufu.

a. Pal ucundaki ok açısı ve anhedrali uçuş öncesinde pasif değişen (Şal, 2022)

b. Pal ucundaki ok açısı ve anhedrali uçuş sırasında aktif değişen (Şal, 2024)



a.



b.

**Şekil 3** a. Toplam ve b. İzafi enerji tasarrufu.

(pal ucundaki ok açısı ve anhedrali uçuş öncesinde pasif uçuş sırasında ise aktif olarak başkalaşım yeteneğine sahip bir insanlı helikopterin SPSA ile tekrardan tasarımı sonucunda)

## 6. Sonuçlar

Bu araştırma makalesinde en ekonomik bir şekilde otonom uçuşun sağlanması adına ana rotor pal ucundaki ok açısı ve anhedrali uçuş öncesinde pasif olarak başkalaşabilen uçuş sırasında ise aktif olarak başkalaşabilen insanlı bir helikopterin otomatik uçuş kontrolcüsü ile az önce bahsedilen başkalaşım parametrelerinin başkalaşım mekanizmaları eş zamanlı bir şekilde rassal bir optimizasyon yöntemi vasıtasıyla yeniden tasarlanmaya çalışılmıştır. Bu yayında helikopter uçuş kontrol sistemi

olarak varyans kısıtlı kontrolcüler ve özellikle çıkış varyansı kısıtlı kontrolcü seçilmiştir. Optimizasyon yöntemi olarak rassal bir optimizasyon yöntemi olan SPSA yani eş zamanlı pertürbasyon rassal yaklaşımdan faydalanılmıştır. Pale ucu geometrisinin ve helikopter otomatik uçuş kontrol sisteminin eş zamanlı tasarımı sonucunda helikopter kontrol çabasından önemli kazanç sağlanmıştır. Enerji tasarrufu oranı sadece pasif başkalaşımdan faydalandığı durumda %J=%21,6, sadece aktif başkalaşımdan faydalandığı durumda %J=%85'dir. Fakat bu araştırma makalesi çalışmasında uygulandığı üzere pal ucundaki ok açısı ve anhedrali uçuş öncesinde pasif uçuş sırasında ise aktif olarak başkalaşım yeteneğine sahip bir insanlı helikopterin uçuş kontrol sistemi ile beraber eş zamanlı tasarımı sayesinde %J=%87,8'lik bir enerji tasarrufu değerine ulaşılmıştır. Anlaşılacağı üzere en yüksek enerji tasarrufu değerine hem pasif hem de aktif başkalaşımın bir arada başvurulduğu durumda ulaşılmıştır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- Barbarino, S., Gandhi, F. and Webster, S. D., (2011). Design of extendable chord sections for morphing helicopter rotor blades. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 22(9), 891–905, doi: <https://doi.org/10.1177/1045389X11414077>.
- Bailly, J., Ortun, B., Delrieux, Y. and Rochettes, H. M. D., (2017). Recent Advances in Rotor Aerodynamic Optimization, Including Structural Data Update. *Journal- American Helicopter Society, American Helicopter Society Inc.*, 62:022009-1 to 022009-11.
- Bluman, J. E. and Gandhi, F. S., (2011). Reducing trailing edge flap deflection requirements in primary control with a movable horizontal tail. *Journal of the American Helicopter Society*, 56(3), doi: <https://doi.org/10.4050/JAHS.56.032005>.
- Brocklehurst, A. and Barakos, G. N., (2013). A review of helicopter rotor blade tip shapes. *Progress in Aerospace Sciences*, 56, 35-74.
- Desopper, A., Lafon, P., Philippe, J. J. and Onera, J. P., (1987). Effect of an anhedral sweptback tip on the performance of a helicopter rotor. 13th European Rotorcraft Forum, Arles, France.
- Droandi, G. and Gibertini, G., (2015). Aerodynamic blade design with multiobjective optimization for a tiltrotor aircraft. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 87(1), 19-29.
- Fusato D. and Celi R., (2006). Multidisciplinary design optimization for aeromechanics and handling qualities. *Journal of Aircraft*, 43(1), 241–252, doi: <https://doi.org/10.2514/1.7943>.
- Ganguli R., (2002). Optimum design of a helicopter rotor for low vibration using aeroelastic analysis and response surface methods. *Journal of Sound and Vibration*, 258(2):327–344, doi: <https://doi.org/10.1006/jsvi.2002.5179>.
- Garipova, L. I., Batrakov, A. S., Kusyumov, A. N., Mikhailov, S. A. and Barakos, G., (2016). Aerodynamic and acoustic analysis of helicopter main rotor blade tips in hover. *International Journal of numerical methods for heat & fluid flow*, 26(7), 2101-2118.
- He, Y., Fu, M. C., and Marcus, S. I., (2003). Convergence of simultaneous perturbation stochastic approximation for non-differentiable optimization. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 48(8), 1459-1463.
- Hodges, D. H., Ho, J. C. and Yu, W., (2008). The effect of taper on section constants for in-plane deformation of an isotropic strip. *Journal of Mechanics of Materials and Structures*, 3(3), 425-440.

- Howlett, J (1981) "UH-60 Black Hawk engineering simulation program," NASA Contractor Report 166309.
- Imiela, M., (2012). High-fidelity optimization framework for helicopter rotors. *Aerospace science and technology*, 23, 2-16.
- Kambampati, S. and Ganguli, R., (2016). Nonrotating beams isospectral to tapered rotating beams. *AIAA Journal*, 54(2), 750-757, doi: <https://doi.org/10.2514/1.J054126>.
- Kang, H., Saberi, H. and Gandhi F., (2010). Dynamic blade shape for improved helicopter rotor performance. *Journal of the American Helicopter Society*, 55(3), doi: <https://doi.org/10.4050/JAHS.55.032008>.
- Marques, P., Maligno, A., Dierks, S., Penev, V. and Bachouche, A., (2013). The Jinn military Unmanned Helicopter Program: Rotor blade tip aerodynamics of the advanced technology demonstrator. *International Journal of Unmanned System Engineering*, 3(1), 6-15.
- Oktay, T. and Sultan, C., (2013a). Simultaneous helicopter and control-system design. *AIAA Journal of Aircraft*, 50(3):911-926, doi: <https://doi.org/10.2514/1.C032043>.
- Oktay, T. and Sultan, C., (2013b). Variance-constrained control of maneuvering helicopters with sensor failure. Part G, *Journal of Aerospace Engineering*, 227(12):1845-1858, doi: <https://doi.org/10.1177/0954410012464002>.
- Oktay, T. and Sultan, C., (2013c). Constrained predictive control of helicopters. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 85, 32-47, doi: <https://doi.org/10.1108/00022661311294021>.
- Oktay, T. and Sultan, C., (2013d). Modeling and control of a helicopter slung-load system. *Aerospace Science and Technology*, 29(1), 206-222, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ast.2013.03.005>.
- Oktay, T. and Sultan, C., (2014). Flight control energy saving via helicopter rotor active morphing," *AIAA Journal of Aircraft*, 51(6), 1784-1805, doi: <https://doi.org/10.2514/1.C032494>.
- Oktay, T. and Sal, F., (2015). Helicopter control energy reduction using moving horizontal tail. *The Scientific World Journal: Aerospace Engineering*, doi: 10.1155/2015/523914.
- Oktay, T. and Sultan, C., (2015). Comfortable helicopter flight via passive/active morphing. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 51, 2876-2886, doi: 10.1109/TAES.2015.140488.
- Oktay, T. and Sal, F., (2015). Helicopter control energy reduction using moving horizontal tail. *The Scientific World Journal: Aerospace Engineering*, doi: 10.1155/2015/523914.
- Oktay, T. and Sal, F., (2016). Combined passive and active helicopter main rotor morphing for helicopter energy save. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 38, 1511-1525.
- Oktay, T. and Sal, F., (2017). Effect of the simultaneous variation in blade root chord length and blade taper on helicopter flight control effort. *International Journal of Aerospace Engineering*, 1-9, doi: <https://doi.org/10.1155/2017/6325269>.
- Sadegh, P. and Spall, J. C., (1998). Optimal random perturbations for multivariable stochastic approximation using a simultaneous perturbation gradient approximation. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 43(10), 1480-1484.
- Sal, F., (2020). Effects of the actively morphing root chord and taper on helicopter energy. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 92(2), 264-270.
- Sal, F., (2022). Simultaneous swept anhedral helicopter blade tip shape and control-system design. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 95(1), 101-112. <https://doi.org/10.1108/AEAT-02-2022-0050>.
- Sal, F., (2024). Simultaneous Actively Morphing Swept Anhedral Blade Tip Shape and Helicopter Flight Control-System Design. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, submitted.
- Shahmiri, F., Sargolzehi M. and Ashtiani, M. A. S., (2019). Systematic evaluation of the helicopter rotor blades: design variables and interactions. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 92(2), 264-270.
- Sherry, J., (1953). Helicopter stabilizer. U.S. Patent 2,630,985, March 10.
- Skelton, R. E. and Lorenzo, M. D., (1985). Space structure control design by variance assignment. *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, 8(4), 454-462, 1985.
- Skelton, R. E. and Sultan, C., (1997). "Controllable tensegrity, A new class of smart structures," SPIE Intl. Symposium on Smart Structures and Materials, San Diego, CA.
- Stuart, J., (1961). Horizontal tail plane for helicopters. U.S. Patent 2,979,286.
- Stalewski, W. and Zalewski, W., (2019). Performance improvement of helicopter rotors through blade redesigning. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 91(5), 747-755.
- Xie., J, Xie, Z., Zhaou, M. and Qiu, J. (2017). Multidisciplinary aerodynamic design of a rotor blade for an optimum rotor speed helicopter. *Applied Sciences*, 7(6), 1-18.

Vu, N. A., Lee J. W. J I S., (2013). Aerodynamic design optimization of helicopter rotor blades including airfoil shape for hover performance. Chinese Journal of Aeronautics, 26(1), 1-8, 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cja.2012.12.008>.



**KFBD**

**Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi**

The Black Sea Journal of Sciences

ISSN (Online): 2564-7377 <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kfbd>

Araştırma Makalesi / Research Article

## 6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri Sonrasında Ecemiş Fayı'nda Meydana Gelen Kabuksal Deformasyonların GNSS Yöntemiyle Belirlenmesi

İbrahim TIRYAKIOĞLU<sup>1\*</sup>, Fikret KOÇBULUT<sup>2</sup>, Cemil GEZGİN<sup>3</sup>, Halil İbrahim SOLAK<sup>4</sup>, Eda Esmâ EYÜBAGİL<sup>5</sup>, Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK<sup>6</sup>, Kayhan ALADOĞAN<sup>7</sup>, Ergin DÖNMEZ<sup>8</sup>, Fatih POYRAZ<sup>9</sup>

### Öz

Bu çalışmada, Ecemiş Fayı ve çevresindeki kabuksal deformasyonun belirlenmesi amacıyla kurulan 28 noktalı GNSS ağına 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri sonrası meydana gelen kosismik deformasyon incelenmiştir. TÜBİTAK 121Y409 numaralı proje kapsamında kurulan GNSS ağı, bölgede yer alan TUTGA noktaları ve TUSAGA-Aktif istasyonları ile genişletilerek 64 noktalı bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Proje ağına kampanya tipi 25 noktada, 2022 Temmuz ayında bir kampanya GNSS ölçümü yapılmıştır. 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinden sonra ise 2023 Temmuz ayında bir kampanya daha ölçüm yapılmıştır. Ayrıca ağda yer alan TUTGA noktalarının ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi (presismik) dönemde en az 3 farklı yıla ait GNSS verileri temin edilmiştir. Tüm GNSS verileri GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Ağda yer alan TUTGA ve TUSAGA noktalarının deprem öncesi verileri ile bu noktalara ait Avrasya sabit (ITRF14) hızları elde edilmiştir. Ayrıca TUSAGA Aktif istasyonlarının deprem sonrası (postsismik) 10 aylık verilerinin değerlendirilmesiyle deprem sonrası hızlar elde edilmiştir. Deprem öncesi ve sonrası hızlar kullanılarak kampanya tipi noktaların hızları enterpolasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Kampanya tipi noktalarda depremin neden olduğu atım miktarları, enterpolasyon ile elde edilen hızlar kullanılarak deprem öncesi ve sonrası koordinatların deprem anı epöğuna kaydırılmasıyla hesaplanmıştır. Kampanya tipi noktalarda atım miktarlarının doğu bileşende 10 mm ile 410 mm ve kuzey bileşende ise 18 mm ile 316 mm arasında değiştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, Kosismik Deformasyon, 6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri, Ecemiş Fayı.

## Determination of Crustal Deformations on the Ecemiş Fault After the February 6 Kahramanmaraş Earthquakes Using the GNSS Method

### Abstract

In this study, to determine the crustal deformation of the Ecemiş Fault and its surroundings, the coseismic deformations occurred in the region after the February 6 Kahramanmaraş earthquake were investigated using the 28-site GNSS network established in 2022 in TUBITAK 121Y409 project. The GNSS network was expanded with TUTGA sites and TUSAGA-Active stations in the region and 64 sites covering Ecemiş Fault were reached. One campaign GNSS measurement was carried out at 25 sites in the network in July 2022 (before earthquake) and 2023 (after the earthquake), respectively. In addition, GNSS data of TUTGA sites and TUSAGA-Active stations in the network were obtained from at least 3 different years in the pre-seismic period. All GNSS data were evaluated with GAMIT/GLOBK software. Using the pre-earthquake data of the TUTGA and TUSAGA sites in the network, the Eurasian-fixed (ITRF14) velocities of these sites were calculated. In addition, post-earthquake velocities were calculated by evaluating the 10-month post-seismic data of TUSAGA Active stations. The velocities of the campaign type sites were calculated by interpolation method using the pre- and post-earthquake velocities. The offsets caused by the earthquake at the campaign type sites were calculated by shifting the pre- and post-earthquake coordinates to the epoch of the earthquake using the velocities obtained by interpolation. It was determined that the offsets at campaign type sites varied between 10 mm and 410 mm in the eastern component and between 18 mm and 316 mm in the northern component.

**Keywords:** GNSS, Coseismic Deformation, February 6th Kahramanmaraş Earthquakes, Ecemiş Fault.

<sup>1,5,6</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, [itiryakioğlu@aku.edu.tr](mailto:itiryakioğlu@aku.edu.tr), [edaeyubagil@gmail.com](mailto:edaeyubagil@gmail.com), [ece-bengunaz.cakansimsek@usr.aku.edu.tr](mailto:ece-bengunaz.cakansimsek@usr.aku.edu.tr)

<sup>1,4</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi, Afyonkarahisar, Türkiye

<sup>2</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, [fbulut@cumhuriyet.edu.tr](mailto:fbulut@cumhuriyet.edu.tr)

<sup>3</sup>Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, [cemilgezgin@aksaray.edu.tr](mailto:cemilgezgin@aksaray.edu.tr)

<sup>4</sup>Afyon Kocatepe, Uzaktan Eğitim M.Y.O, Afyonkarahisar, Türkiye, [hisolak@aku.edu.tr](mailto:hisolak@aku.edu.tr)

<sup>7</sup>Hitit Üniversitesi, Osmaniye Ömer Derindere M.Y.O, Çorum, Türkiye, [kayhanaladogan@gmail.com](mailto:kayhanaladogan@gmail.com)

<sup>8</sup>Pamukkale Üniversitesi, Çivril Atasay Kamer M.Y.O, Denizli, Türkiye, [ergindonmez@gmail.com](mailto:ergindonmez@gmail.com)

<sup>9</sup>Cumhuriyet Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, [fpoyraz@cumhuriyet.edu.tr](mailto:fpoyraz@cumhuriyet.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

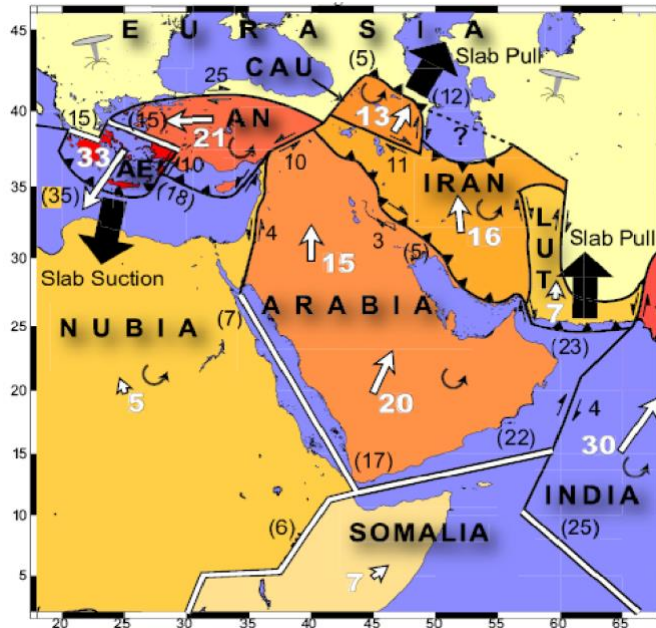
Geliş/Received: 15.03.2024

Kabul/Accepted: 05.06.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Anadolu levhası jeolojik olarak sıkışmalı tektonik yapı denetiminde gelişen “Alp-Himalaya Kuşağı” içerisinde yer almaktadır. Kuzeyinde rijit olarak kabul edilen Avrasya, güneydoğu ve doğusunda yer alan Afrika ile Arap levhaları arasında kalan Anadolu Levhası mevcut levha etkileşimleri kaynaklı B-GB yönlü yılda yaklaşık olarak 25-30 milimetrelük rotasyonel bir hareket sergilemektedir. Tektonik kaçış modeli olarak isimlendirilen bu hareket neticesinde bölge karmaşık yapıda hızlı biçimde deformasyona uğramaktadır (Şengör, 1979, 1980, Şengör ve ark., 1985). GNSS (Global Navigation Satellite System) ölçümlerine dayalı Avrasya levhası sabit alınarak Anadolu levhasının hareketi göreceli olarak incelendiğinde; yılda 5 mm hızla Afrika plakası tarafından kuzeye doğru, yılda 19 mm hızla Arap plakası tarafından kuzey-kuzeydoğu yönlü sıkışmaya maruz kalmaktadır (McClusky ve ark., 2000). Yıllar içerisinde gerçekleştirilen multidisipliner çalışmalar sonucunda Anadolu Levhası'nın neotektonik gelişimi mevcut sıkışmalı rejim ve tektonik kaçış modeline dayalı rotasyonel hareket açısından yorumlandığında önemli iki ana fay zonuna odaklanılmıştır (Şengör ve ark., 1985; Barka ve Reilinger, 1997; Koçyiğit ve Özacar, 2003, Emre ve ark., 2016). Bu iki transform fay zonu, Avrasya ve Anadolu levhalarının kesiştiği sınırdaki bulunan sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile Arap ve Anadolu levhalarının kesiştiği sınırdaki bulunan KAFZ ile eşlenik yapıya sahip sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'dir. Bu iki ana fay zonu özelinde gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar sonucunda kayma hızları KAFZ'de ortalama 24 mm/yıl, DAFZ'de ise ortalama 9 mm/yıl olarak belirlenmiştir (Reilinger ve ark., 2006).



Şekil 1. Türkiye ve çevresinin aktif tektonik haritası (Reilinger ve ark., 2006)

Bingöl Karlıova civarında birleşen iki ana fay zonu arasında kalan bölgenin Tuz Gölü Fay zonunun (TGFZ) doğusunda kalan kesiminde KAFZ ve DAFZ'a koşturmuş şekilde gelişen Anadolu levhasının iç kısımlarına doğru uzanan birçok diri fay bulunmaktadır. Orta Anadolu'da yer alan diri faylar genelde KD-GB doğrultusunda uzanım gösteren sol yanal atımlı faylarla karakterize edilmektedir (Duman ve ark.,2017). Orta Anadolu Bölgesi'ndeki depremselliği denetleyen yanal atımlı faylar arasında Ecemiş Fayı, Deliler Fayı, Doğanşehir Fay Zonu, Cihanbeyli Fayı, Sungurlu Fayı, Orta Fayı, Malatya Fayı, Çatalçam Fayı, Ovacık fayı ve Sarız Fayı yer almaktadır (Şekil 2).

Günümüzde GNSS teknolojisiyle faylar üzerindeki deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası hareketlerin belirlenmesi mümkündür. Tektonik hareketlerin izlenebilmesi amacıyla kurulan GNSS ağlarında periyodik olarak gerçekleştirilen ölçülerin değerlendirilmesiyle yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip nokta koordinatları ile birlikte noktasal hızlar elde edilmektedir. Bu hızlar yardımıyla aktif faylar denetiminde deformasyona uğrayan bölgeye ilişkin yorumlar yapılabilmektedir. Sismik tehlike analizi, fayların kinematik yapıları ve meydana gelen depremler sonrasında kabuksal deformasyonun belirlenmesine ilişkin önemli parametreler GNSS ölçülerinin değerlendirilmesiyle elde edilen noktasal hızlara dayalı olarak geliştirilen bağıntılarla hesaplanabilmektedir. Jeodezik olarak hesaplanabilen önemli parametreler arasında yer alan bir depremin neden olduğu kalıcı yer değiştirme miktarı (atım), yanal atımlı faylarda blokların birbirine göre yanal hareketlerini izlemek amacı fay hattına dik kesitler olacak şekilde tasarlanan GNSS ağlarında gerçekleştirilen periyodik ölçüler ile hassas bir şekilde belirlenebilir. Özellikle deprem sonrası dönemde kabuksal deformasyonun ve yer değiştirme miktarının belirlenmesinde GNSS verilerinin statik ve kinematik yöntemlerle değerlendirildiği birçok çalışma dikkat çekmektedir (Tiryakioğlu ve ark., 2017a, Tiryakioğlu ve ark., 2017b, Tiryakioğlu ve ark., 2018, Aktuğ ve ark.,2021, Eyübagil ve ark.,2021, Şafak ve ark.,2023, Yenice ve ark., 2023).

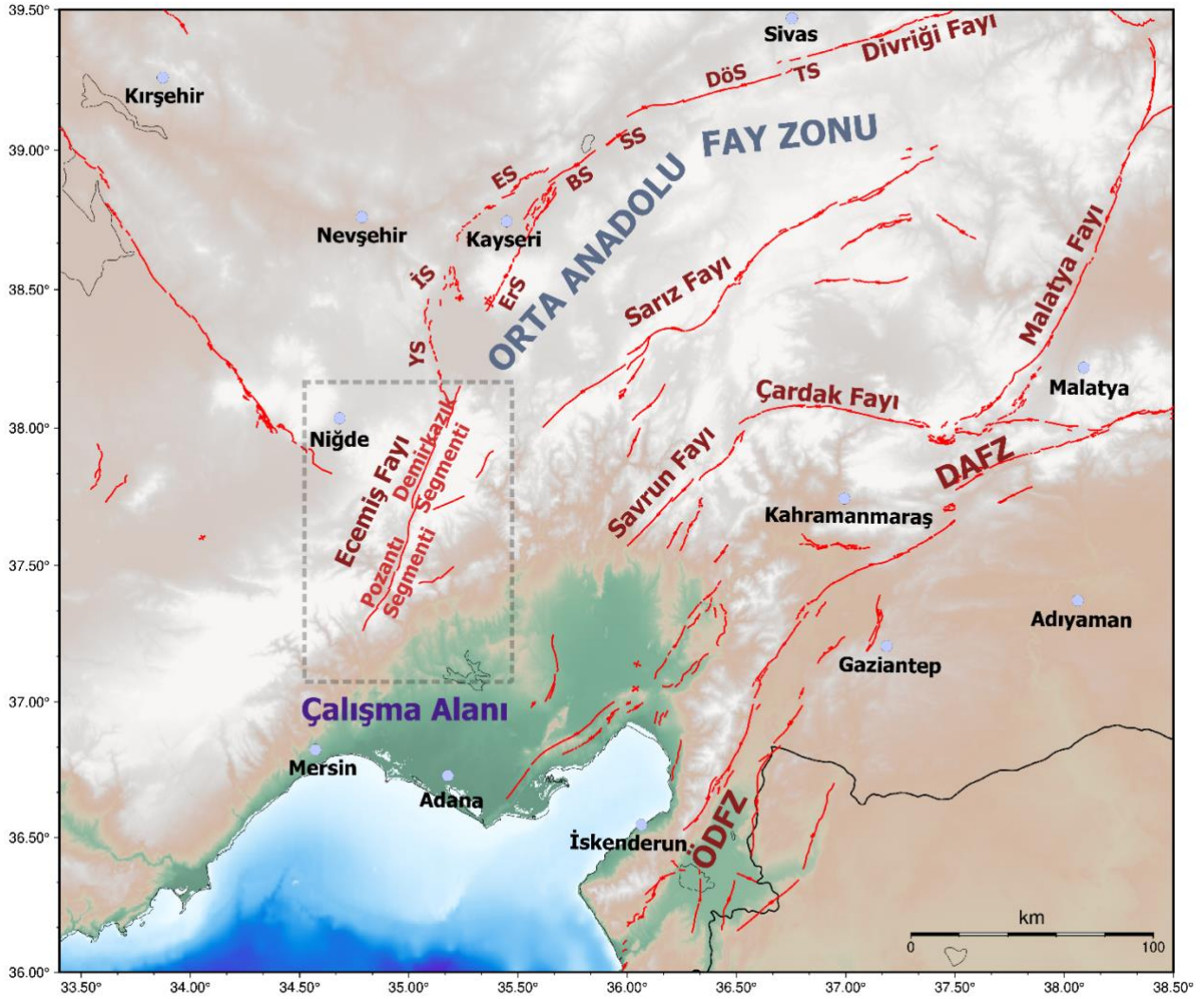
Bu çalışmada 121Y409 numaralı TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) projesi kapsamında 2022 yılının Nisan-Mayıs aylarında Ecemiş Fayı çevresinde kurulan ve Temmuz ayında ilk kampanya ölçüleri gerçekleştirilen GNSS ağında, 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri sonrasında meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri öncesi ve sonrası birer kampanya ölçüsü bulunan GNSS ağında nokta bazında atım miktarlarının belirlenmesi için proje kapsamında kurulan ağ genişletilmiştir. Güncellenen ağda yer alan TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) ile TUSAGA- Aktif (Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı-Aktif) istasyonlarının deprem öncesi hızları ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem sonrası hızları kullanılarak ağda yer alan kampanya tipi noktalar için enterpolasyon yöntemiyle hız kestirimi yapılmıştır. Enterpolasyon ile elde edilen hızlar kullanılarak noktaların deprem öncesi ve sonrası koordinatlarının deprem anı epöğuna kaydırılmasıyla kampanya tipi gözlenen noktalarda depremin neden olduğu atım miktarları elde edilmiştir.



## 2. Bölgenin Tektonik Yapısı ve Depremselliği

Anadolu bölgesi, dünya üzerinde sismik aktivitelerin en yoğun şekilde gözlemlendiği bölgeler içerisinde yer almaktadır (McKenzie, 1972). Anadolu'nun güncel tektonik kinematığında ana rol oynayan iki temel yapı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) olarak bilinmektedir. Kuzey Ege Denizi ile Karlıova arasında yaklaşık 1400 km uzunluğunda doğu-batı uzanımlı sağ yanal atımlı KAFZ zonu, Karlıova havzasında DAFZ zonu ile kesişmektedir. DAFZ KD-GB doğrultusunda Karlıova-Antakya arasında yaklaşık 600km boyunca uzanım göstermektedir. Anadolu bölgesinin orta kesimlerine doğru gözlemlenen bu iki ana fay zonuna paralel olarak gelişen ikincil fay sistemlerine ek olarak bölgede yer alan karmaşık fay kinematığı birçok jeolojik ve jeodezik araştırmaya konu olmuştur (Toprak ve Göncüoğlu 1993, Tatar ve ark., 1996, 2002, Reilinger ve ark., 1997, Koçyiğit ve Beyhan 1998, Platzman ve ark., 1998, McClusky ve ark., 2000, Koçyiğit ve Erol 2001, Ayhan ve ark., 2003, Koçyiğit 2003, Aktuğ ve ark., 2009, Çiner ve ark., 2011, Aktuğ ve ark., 2013, Yıldırım 2014, Simao ve ark., 2016, Gezgin ve ark., 2020, Gezgin ve ark., 2022) Anadolu'nun orta kesimlerinde yer alan ikincil fay sistemlerine örnek olarak sol yanal Orta Anadolu fay zonu, sağ yanal doğrultu atımlı bileşene sahip normal bir fay zonu olan TGFZ, İnönü-Eskişehir fay sistemi ve Akşehir fay zonu verilebilir (Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Dirik, 2001; Koçyiğit, 2003; Koçyiğit ve Özacar, 2003).

Koçyiğit ve Beyhan (1998), kuzeydoğuda Düzyayla ile güneybatıda Anamur ilçesi arasında, yaklaşık 730 km uzunluğunda 2-80 km genişliğindeki KD doğrultulu aktif sol yönlü doğrultu atımlı fay zonunu Orta Anadolu Fay Zonu olarak adlandırmışlardır (Şekil 2). Yazarlara göre bu zonun orta kesimini, Orta ve Doğu Toroslar'ı birbirinden ayıran, K25D gidişli, sol yönlü doğrultu atımlı Ecemiş Fay Zonu oluşturur. Bu zonun Erciyes (Kayseri) ile Taşucu (Mersin) arasındaki uzunluğu yaklaşık 300 km, genişliği yaklaşık 7-8 km ve toplam atımı da yaklaşık 80 km'dir (Yetiş, 1978). Emre ve ark., (2013) Türkiye Diri Fay Haritası Adana paftasında fayı Ecemiş Fayı olarak adlandırmıştır. Türkiye Sismotektonik Haritası Diri Fay Parametreleri ekinde ise Ecemiş Fayı Orta Anadolu Fay Sistemi içinde değerlendirilmiş, Demirkazık ve Pozantı segmentleri adı ile iki ayrı segmente ayrılmıştır (Duman ve ark., 2017). Ecemiş Fayı ilk kez Blumenthal (1952) tarafından adlandırılmış olup, belirgin bir düşey atıma sahip aktif sol yanal doğrultu atımlı fay olarak değerlendirilmiştir. Fay değişik araştırmacılarca, Orta Anadolu Fay Zonu'nun önemli bir neotektonik yapısı olarak kabul edilmektedir (Blumenthal, 1952; Metz, 1956; Ketin, 1960; Pavoni, 1961; Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Koçyiğit ve Beyhan, 1998).



**Şekil 2.** Orta Anadolu Fay Zonu ve bu zon içinde yer alan fay segmentleri ile inceleme alanının harita üzerinde gösterimi.

(Kısaltmalar: TS: Tecer segmenti, Dös: Dökmetaş segmenti, SS: Sarioğlan segmenti, BS: Bünyan segmenti, ErS: Erciyes segmenti, ES: Erkiilet segmenti, İS: İncesu segmenti, YS: Yeşilhisar segmenti, EÇH: Erciyes Çek-Ayır Havzası, EF: Ecemiş Fayı, DS: Demirkazık Segmenti ve PS: Pozantı segmenti. Faylar ve adlandırmaları Emre ve ark., 2013'den alınmıştır.)

Ecemiş Fayı içindeki segmentler üzerinde sınırlı sayıda jeolojik ve paleosismolojik çalışmalar vardır. Çetin (2000) tarafından yapılan çalışmalarda Ecemiş Fayı'nın son 35.000 yılda hareket ettiği öngörülmekte ve Amerikan Nükleer Reaktörler Komisyonu'nun (NRC) tanımlamasına göre aktif olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada tarihsel dönemde fay üzerinde 6.5 ve üzeri büyüklükte en azından üç ayrı depremin olduğu gösterilmiş ve benzer büyüklükte depremlerin yaklaşık olarak son 10.000 yılda meydana gelmediğini belirtmiştir.

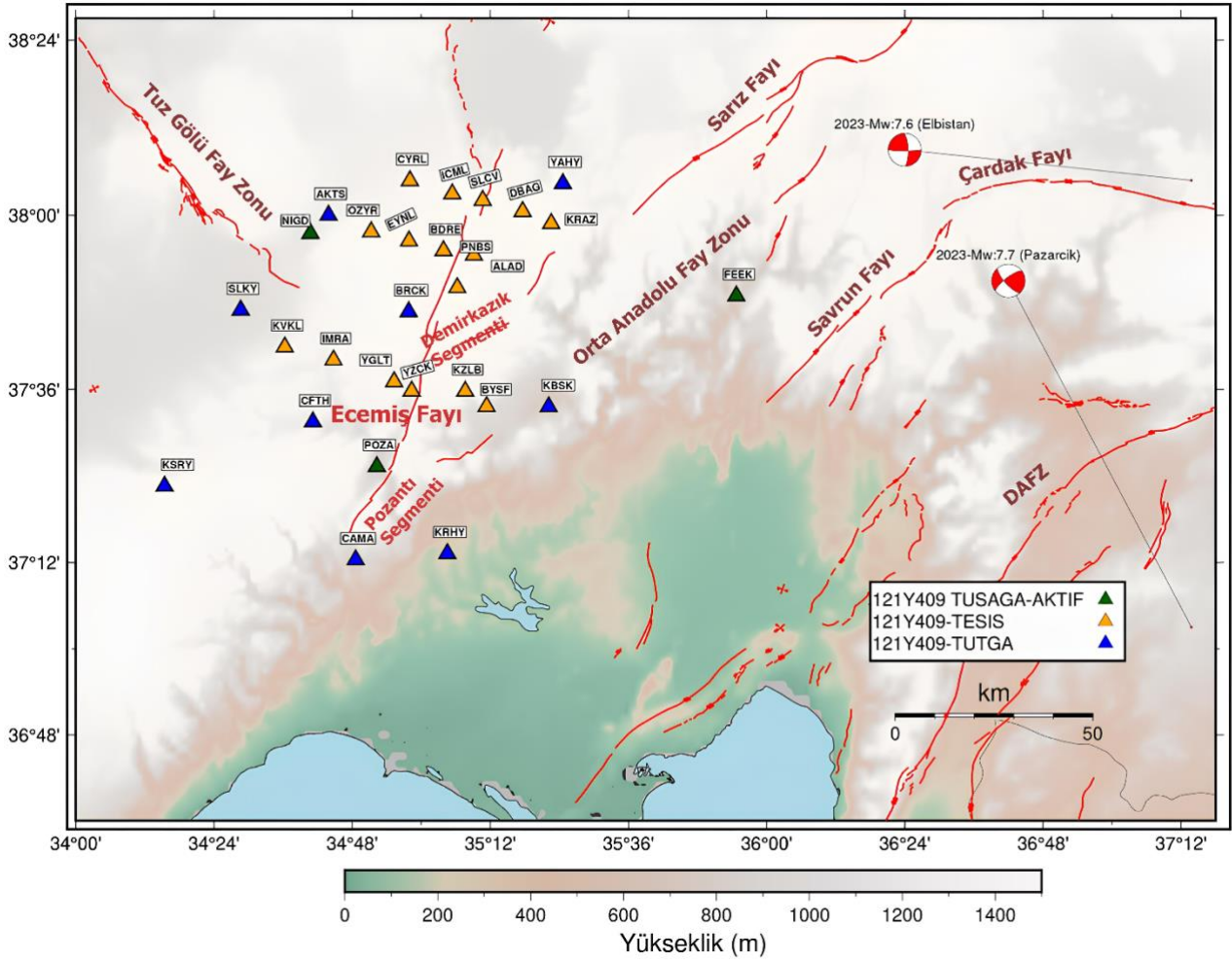
Sarıkaya ve ark., (2015a) tarafından yapılan Orta-Geç Pleyistosen'den bu yana yüzey faylanması oluşturmuş herhangi bir deprem meydana gelmediğini belirtmiştir. Bununla birlikte tarihsel dönemde Ecemiş Fayı çevresindeki Kayseri-Adana-Nevşehir yerleşimlerini etkileyen yıkıcı depremler olmuş, aletsel dönemde ise mikro deprem aktivitesi devam etmiştir.

Ecemiş Fayının kayma hızı ile ilgili yapılmış jeolojik çalışmalar da bulunmaktadır. Higgins ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada Ecemiş Fayı'nın Geç Kuvaterner dönemindeki yıllık minimum kayma hızını  $1.1 \pm 0.4$  mm olarak önermiş ve bunun daha önce önerilen kayma hızı değerlerinden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Türkiye genelinde birçok faya ait kayma hızlarına yönelik sayısal veriler sunan Reilinger ve ark., (1997), McClusky ve ark., (2000) ve Reilinger ve ark., (2006) çalışmalarında Ecemiş Fayı'nın bulunduğu bölgede GPS noktası bulunmamaktadır. Bölgede, GPS ölçülerinin kullanıldığı tek çalışma olan Aktuğ ve ark., (2013)'nde Ecemiş fayı ve çevresi için yeni bir jeodezik GPS ağı kurulmamış, çalışma Orta Anadolu ölçeğinde ele alınmıştır ve Ecemiş fayı sadece 4 adet GPS noktası ile temsil edilmiştir. Bu sebeple bu çalışmada kullanılan ağıdaki nokta yoğunluğu Ecemiş Fayı üzerindeki deformasyon birikiminin belirlenmesi için yeterli değildir. Aktuğ ve ark., (2013) Ecemiş Fayı üzerindeki nokta hızlarını en büyük 21.2 mm/yıl en küçük ise 13.2 mm/yıl olarak elde etmiştir. Bu durum çalışma bölgesinde hızların kuzeyden güneye doğru azaldığını göstermektedir. Bu çalışmadaki jeodezik verilerden elde edilen kayma hızları, bölgede daha önce gerçekleştirilen farklı jeolojik çalışmalarda önerilenin aksine Ecemiş Fayı'nın tektonik olarak daha yüksek hızla hareket ettiğini işaret etmektedir.

### 3. Materyal Metot

Ecemiş Fayı ve çevresindeki kabuksal deformasyonunu jeodezik yöntemlerle incelenmesi amacıyla 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında faya dik profiller oluşturulacak şekilde bir GNSS ağı tasarlanmıştır.



Şekil 3. 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında oluşturulan 28 noktalı GNSS ağı

Çalışma bölgesinin sismojenik zon derinliğinin, bölgede meydana gelen depremlerin derinlik dağılımı göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık 10 km olduğu bilinmektedir (URL-1). Oluşturulan profiller içerisindeki nokta sayısı, bu noktaların faya olan uzaklığı ve dağılımı sismojenik zon kalınlığı baz alınarak belirlenmiştir. Ecemiş Fayı'nın kabuksal deformasyonunu belirlemek amacıyla fayın her iki tarafında sırası ile 1-2 km, 10 km, 15 km, 25 km ve yaklaşık 50 km olmak üzere 16 yeni GNSS noktası tesis edilmiştir. 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında çalışma bölgesi içerisinde yer alan Ecemiş fayına yakın 9 adet TUTGA noktası ve 3 adet TUSAGA-Aktif istasyonu ağa dahil edilerek 28 noktalı Ecemiş fayı GNSS ağı oluşturulmuştur. Zorunlu merkezlendirme ve anten yükseklik hatalarının en aza indirgenmesinin yanı sıra tesis edilecek noktaların tahrip olma riskinden kaçınmak amacıyla tesisi planlanan noktalarda pilye tipi tesis tercih edilmiştir (Şekil 3). Tiryakioğlu ve ark., (2010) ve Şafak ve ark., (2020)'de belirtilen hususlar dikkate alınarak; tüm kampanya ölçüleri iki gün tekrarlı ve minimum 8 saat şeklinde gerçekleştirilmiştir.

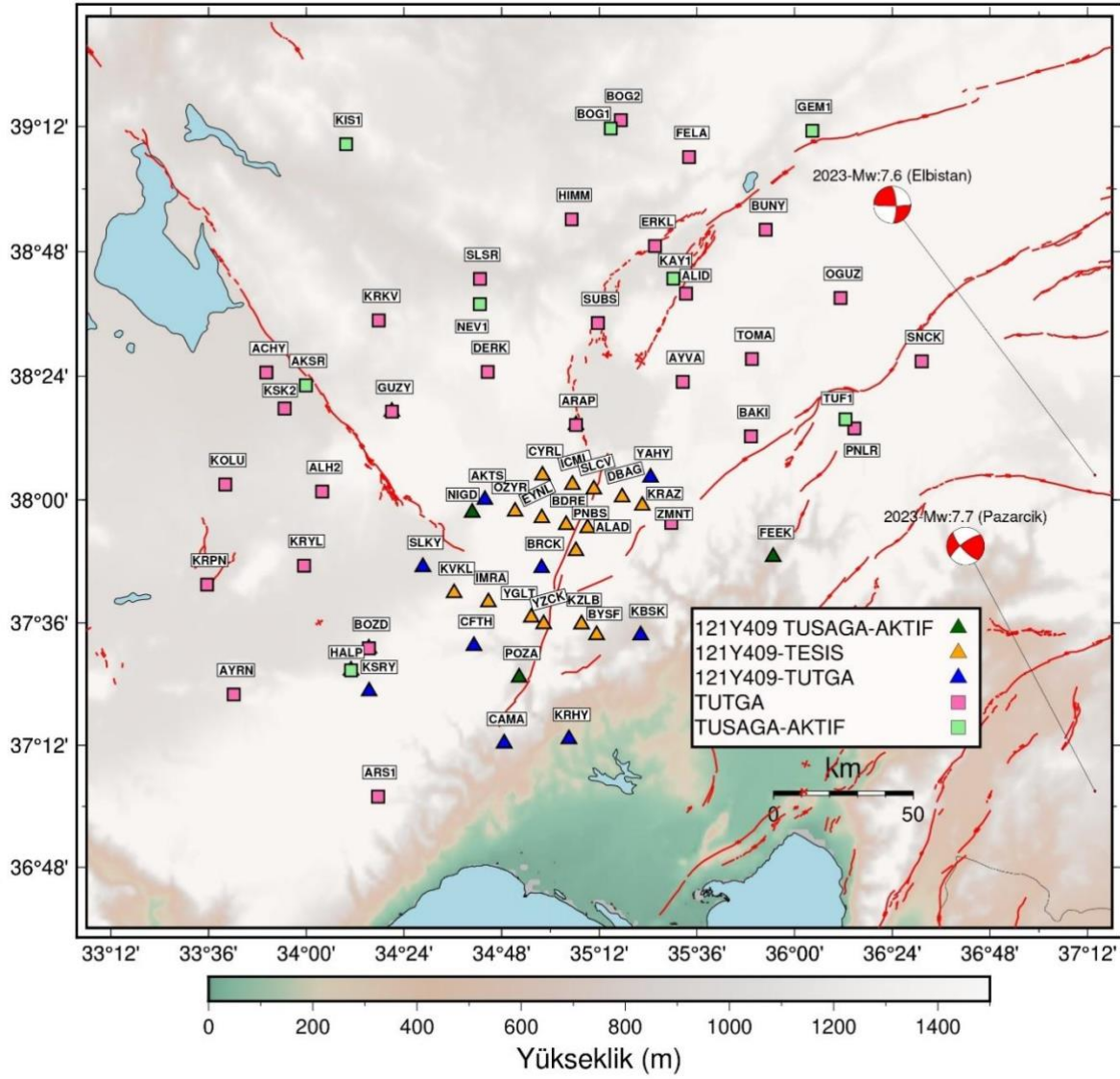




**Şekil 4.** 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilen kampanya ölçüleri (a)ALAD, b) YZCK, c) DBAG, d) ULUP)

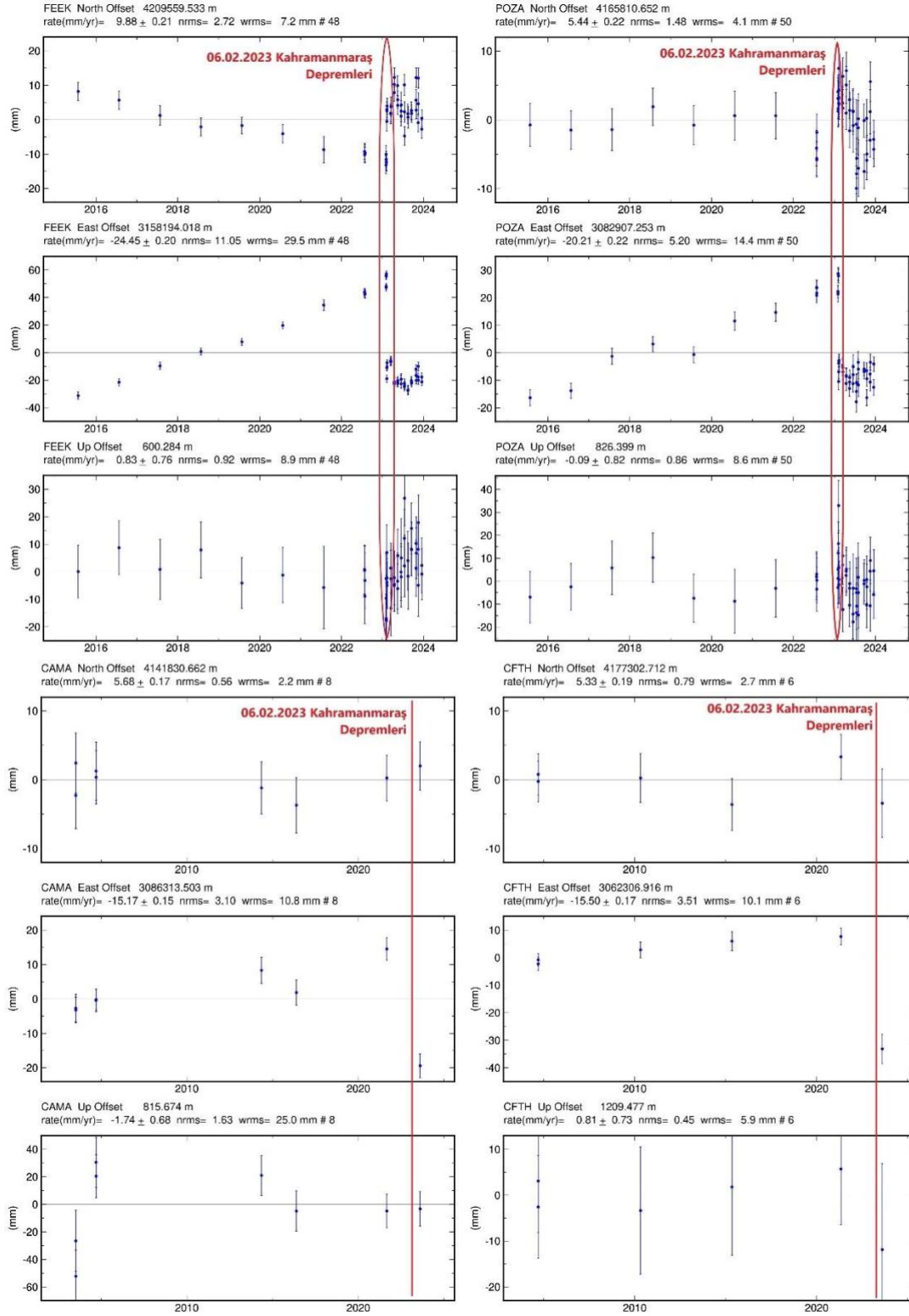
Oluşturulan GNSS ağına 2022 yılı Temmuz ayında gerçekleştirilen 1. kampanya ölçülerinin ardından 7 ay sonra Kahramanmaraş depremleri meydana gelmiştir (URL-2). İkinci kampanya ölçüleri 2023 Temmuz ayında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).

6 Şubat Kahramanmaraş depremleri öncesi ve sonrası birer kampanya ölçüsü bulunan GNSS ağına nokta bazında yer değiştirme miktarlarının belirlenmesi için proje kapsamında kurulan ağ genişletilmiştir. Meydana gelen depremlerin ağ dışında etkisini görmek için bölgede bulunan 28 adet TUTGA noktası ve 8 adet TUSAGA-Aktif istasyonu ağa dahil edilmiş ve değerlendirilen nokta sayısı 64 adete ulaşmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma kapsamında güncellenen 64 noktalı GNSS ağı

Kosmik deformasyonun belirlenebilmesi için deprem öncesi yapılan 1. Kampanya GNSS ölçümlerinin ve deprem sonrası yapılan 2. Kampanya GNSS ölçümlerinin deprem anı epoklarına taşınması gerekmektedir. Bu nedenle birinci kampanya ve ikinci kampanya arasında meydana gelen Kahramanmaraş depremleri sonrası Ecemiş fayı ve çevresindeki kosmik deformasyonun belirlenmesi için güncellenen GNSS ağındaki noktalara ilişkin deprem öncesi ve sonrası hızlarının bilinmesi gerekmektedir. Kampanya tipi noktalarda hız kestirimi, genişletilen ağda yer alan TUTGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi ve sonrası hızları yardımıyla ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemiyle yapılmıştır. Öncelikli olarak TUTGA noktaları ile TUSAGA Aktif istasyonlarına ait GNSS verilerinin temini sağlanmıştır. Güncellenen ağda yer alan tüm TUTGA noktalarının deprem öncesi ve deprem sonrası verileri Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.



Şekil 6. FEEK ile POZA isimli TUSAGA Aktif İstasyonları ve CAMA ile CFTH isimli TUTGA noktalarına ait uzun dönem zaman serisi

Ağa dahil edilen TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi ve deprem sonrası verileri ise TUSAGA Aktif Sistemi Web Portalı üzerinden elde edilmiştir (URL-3). Temin edilen GNSS verileri ile birlikte kampanya tipi noktalara ait GNSS verilerinin tamamı GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda elde edilen CAMA ve CFTH isimli TUTGA

noktaları ile POZA ve FEEK isimli TUSAGA Aktif istasyonlarına ait zaman serileri Şekil 6'da verilmiştir

GAMIT/GLOBK değerlendirme stratejisi olarak iyonosferden bağımsız çözüm seçilmiştir, troposfer modeli olarak saastamoinen, yörünge bilgisi Scripps Orbit ve Permanent Array Center (SOPAC) veri tabanından elde edilen hassas uydu yörünge bilgileri (IGS\_FINAL) kullanılmıştır. International GNSS Service (IGS) ağında bulunan ve zaman serileri tutarlı 25 adet IGS istasyonu değerlendirmeye dahil edilmiştir. Her iki kampanya ölçüsüne ait verilerin değerlendirilmesi ile noktaların GNSS ölçümü gerçekleştirilen kampanya ölçü epoğunda ITRF14 koordinatları elde edilmiştir.

TUTGA noktaları ve TUSAGA Aktif istasyonlarının deprem öncesi döneme ait minimum 3 kampanya GNSS verisi GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilerek bu noktalara ilişkin deprem öncesi hızlar (ITRF14\_Eura) elde edilmiştir. Benzer şekilde Maraş depremlerinden 6 ay sonra yapılan 2. Kampanya GNSS ölçümlerinden kosismik etkiyi gidermek için 11 adet TUSAGA Aktif istasyonunun deprem sonrası dönemini kapsayan (07.02.2023-07.12-2023 arası) 10 aylık verisi değerlendirilmiştir. Veriler deprem sonrası için her aydan 3 gün olarak seçilmiştir. Gerçekleştirilen değerlendirmeler ile bu istasyonlara ait deprem sonrası hızlar (ITRF14\_Eura) elde edilmiştir.

Kampanya tipi noktalarda hız kestirimi, hızları bilinen en yakın 3 noktanın hız ortalaması alınarak ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntemde öncelikle üç boyutlu uzayda koordinat ve hızları bilinen noktaların P noktasına olan uzaklıkları bulunur. Bunun için aşağıdaki eşitlik kullanılır (Baykal ve ark., 2009).

$$S_1 = \sqrt{(X_1 - X_p)^2 + (Y_1 - Y_p)^2 + (Z_1 - Z_p)^2} \quad (1)$$

Her üç noktanın P noktasına olan uzaklıkları bulunduktan sonra aşağıdaki eşitlikler yardımıyla P noktasının hızı enterpolasyon yöntemiyle bulunur.

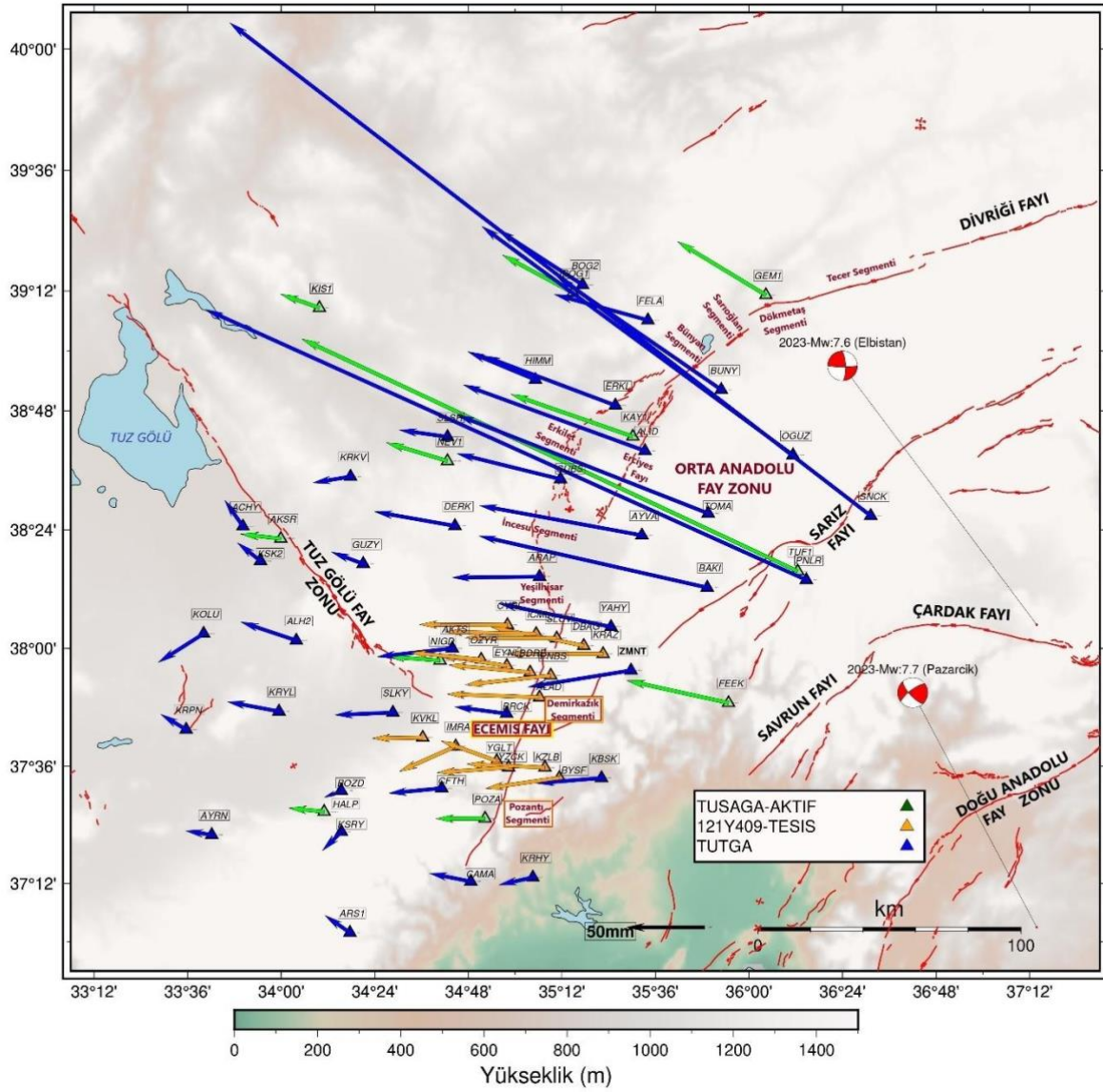
$$V_{Xp} = \frac{\left( \left( v_{X \frac{1}{S_1}} \right) + \left( v_{X \frac{2}{S_2}} \right) + \left( v_{X \frac{3}{S_3}} \right) \right)}{\left( \left( \frac{1}{S_1} \right) + \left( \frac{1}{S_2} \right) + \left( \frac{1}{S_3} \right) \right)} \quad (2)$$

$$V_{Yp} = \frac{\left( \left( v_{Y \frac{1}{S_1}} \right) + \left( v_{Y \frac{2}{S_2}} \right) + \left( v_{Y \frac{3}{S_3}} \right) \right)}{\left( \left( \frac{1}{S_1} \right) + \left( \frac{1}{S_2} \right) + \left( \frac{1}{S_3} \right) \right)} \quad (3)$$



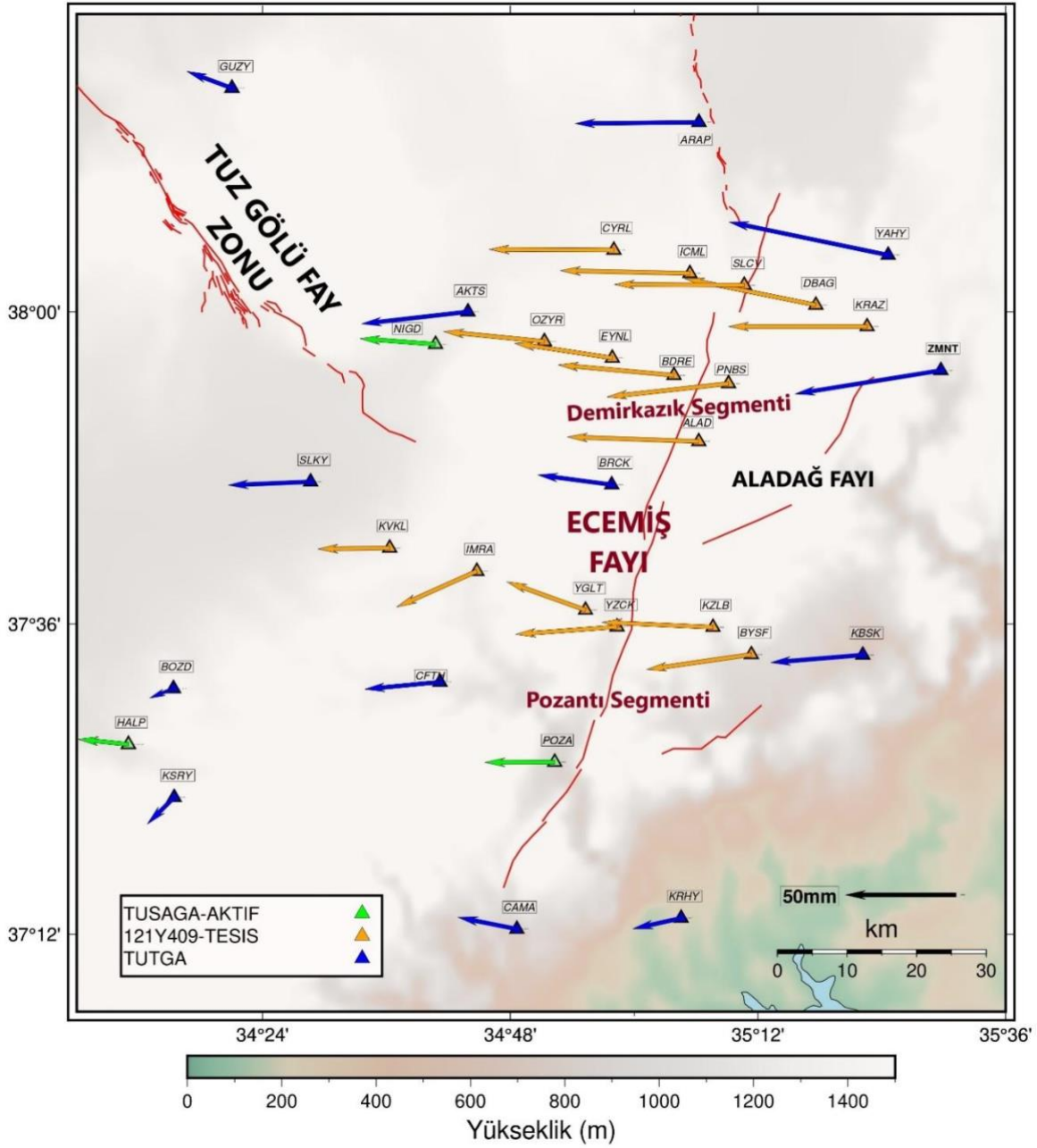
$$V_{zP} = \frac{\left( (V_{zS_1}^{-1}) + (V_{zS_2}^{-2}) + (V_{zS_3}^{-3}) \right)}{\left( \left( \frac{1}{S_1} \right) + \left( \frac{1}{S_2} \right) + \left( \frac{1}{S_3} \right) \right)} \quad (4)$$

Burada hesaplanan  $V_x$ ,  $V_y$  ve  $V_z$  P noktasının enterpolasyon yöntemiyle hesaplanan hızlarıdır. Formül 1-4 kullanılarak ağda yer alan kampanya tipi noktalara ait deprem öncesi hızların hesaplanmasında yapılan değerlendirmeler sonucunda TUSAGA-Aktif istasyonları ve TUTGA noktalarının deprem öncesi hızları kullanılarak elde edilmiştir. Bu hızlar kullanılarak kampanya tipi noktaların koordinatları depremin meydana gelmeden bir gün öncesine ait ölçü epoğuna (2023.1) kaydırılmıştır. Benzer şekilde belirtilen bağıntı (Formül 1-4) yardımıyla TUSAGA-Aktif istasyonların deprem sonrası döneme ait verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen hızlar kullanılarak kampanya tipi noktalar ve TUTGA noktalarının deprem sonrası hızları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu hızlar yardımıyla kampanya tipi noktalar ve TUTGA noktalarının son ölçü epoğuna ait koordinatları depremden bir gün sonraki ölçü epoğuna kaydırılmıştır.



Şekil 7. Çalışma kapsamında oluşturulan GNSS ağında hesaplanan atımlar

Ağda yer alan tüm noktalara ait 2023 yılındaki son ölçü epöğü ile depremden bir gün sonraki ölçü epöğü arasındaki fark alınarak kosismik deformasyonlar hesaplanmıştır. Ecemiş fayının kuzeyinde yer alan Demirkazık segmentinin kuzeydoğusu ile Sarız fayı arasında kalan bölgede en yüksek atımlar hesaplanmıştır. Bu bölgede hesaplanan atımlar 55 mm - 518 mm arasında değişim göstermektedir (Şekil 7). Bölgenin güneyinde Aladağ fayı ile Ecemiş fayının kesişiminin devamında yer alan Pozantı segmenti ve çevresinde yer alan noktalarda yer alan atımlar ise 38 mm - 57 mm arasında değişim göstermektedir. Genel olarak D-B doğrultusunda uzanım gösteren atım miktarlarının kuzeyden güneye gidildikçe azaldığı görülmektedir (Şekil 8.).



Şekil 8. 121Y409 numaralı proje kapsamında oluşturulan GNSS ağı ve çevresinde yer alan noktalara ilişkin hesaplanan atımlar

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Ecemiş Fayı ve çevresindeki kabuksal deformasyonun belirlenmesini amaçlayan 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında oluşturulan GNSS ağına 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri sonrası meydana gelen kosismik deformasyon incelenmiştir. Proje kapsamında oluşturulan 28 noktalı GNSS ağı, çalışma bölgesi çevresinde yer alan TUTGA noktaları ve TUSAGA-Aktif İstasyonları eklenerek 64 noktalı güncel bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Proje kapsamında oluşturulan GNSS ağına deprem öncesi ve deprem sonrası birer kampanya GNSS ölçümü gerçekleştirilmiştir. Kampanya tipi noktalarda deprem öncesi ve deprem sonrası hızlar bir

kampanya GNSS ölçümü ile belirlenemeyeceğinden deprem öncesi minimum 3 kampanya ölçümü değerlendirilerek hızı elde edilen noktalar yardımıyla kampanya tipi noktaların deprem öncesi hızı enterpolasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Kampanya tipi noktaların deprem sonrası hızları ise 11 adet TUSAGA Aktif istasyonunun deprem sonrası döneme ait hızları kullanılarak enterpolasyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Kampanya tipi noktalarda atım miktarının belirlenebilmesi için enterpolasyon ile elde edilen deprem öncesi ve deprem sonrası hızlar kullanılarak deprem anı epöğuna kaydırılan koordinatlar arası fark alınmıştır. Çalışma kapsamında genişletilen GNSS ağındaki TUSAGA Aktif istasyonlarına ait hesaplanan atımlar, Eyübagil ve ark., (2023) çalışmasında Elbistan (Mw:7.6) depremi için hesaplanan atımlar ile doğrultu ve büyüklük yönünden benzerlik göstermektedir. 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında oluşturulan GNSS ağında yer alan tüm noktalar ile birlikte ağı çalışma kapsamında güncellenmesi ile ağı eklenen TUTGA noktalarının nokta bazında hesaplanan atım değerleri incelenmiştir. Proje GNSS ağında yer alan TUSAGA Aktif istasyonları içerisinde en yüksek atım, Pazarcık (Mw:7.7) ve Elbistan (Mw:7.6) depremlerinin merkez üssüne en yakın mesafede bulunan (kuş uçuşu 116 km ve 119 km) FEEK isimli istasyonda 66 mm olarak hesaplanmıştır. B Çalışma kapsamında oluşturulan güncel GNSS ağı içerisinde yer alan TUTGA noktalarının atım değerleri incelendiğinde genel olarak bölgenin kuzey kesiminde benzer çizgisellik gösteren Savrun-Çardak fayları ile Sarız fayı arasında kalan bölgede yüksek atım değerleri görülmektedir (Şekil 8.). Bu bölgede hesaplanan KB-GD doğrultulu atımlar içerisinde en yüksek atım miktarı SNCK isimli TUTGA noktasında vektörel olarak 518 mm hesaplanmıştır. Güney kesime doğru inildikçe Aladağ Fayı ile Ecemiş Fayı'nın Demirkazık Segmenti arasında kalan bölgede yer alan TUTGA noktalarında hesaplanan en yüksek atım değeri YAHY noktasında elde edilmiştir. Bu nokta için hesaplanan değer 73 mm'dir. Bu bölgede TUTGA noktalarında hesaplanan atım değerleri vektörel olarak 56 mm - 73 mm arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 8.).

Çalışma bölgesinde yer alan TUTGA noktalarının, bölgenin doğusundan batısına doğru Pazarcık (Mw:7.7) ve Elbistan (Mw:7.6) depremlerinin merkez üslerinden uzaklaştıkça atım değerlerinin küçüldüğü belirlenmiştir (Şekil 7). Ecemiş fayı ve çevresinde yer alan proje kapsamında tesis edilen noktalarda D-B doğrultuya sahip atım değerleri incelendiğinde en yüksek KRAZ noktasında 62 mm , en düşük KVKL noktasında 32 mm olarak hesaplanmıştır. Bölgede Maraş depremleri sonrası en kapsamlı jeodezik çalışma olan Özkan ve ark. (2023)'de de depremlerin meydana getirdiği atım değerlerinin batıya doğru azaldığı görülmektedir. Özkan ve ark. (2023)'de Ecemiş Fayı civarındaki TUSAGA-Aktif istasyonlarında hesaplanan atım değerlerinin bu çalışma ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Proje kapsamında oluşturulan GNSS ağında toplamda 3 kampanya GNSS ölçümü gerçekleştirilmesi hedeflenmiş ve 2 kampanya GNSS ölçümü tamamlanmıştır. 6 Şubat 2023 tarihinde

meydana gelen depremlerin etkisiyle, Ecemiş Fayı ve çevresinde 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında oluşturulan 28 noktalı GNSS ağıyla birlikte bu çalışma kapsamında bölge çevresinde yer alan TUTGA noktalarının da kosmik deformasyona maruz kaldığı tespit edilmiştir.

121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında Ecemiş Fayı ve çevresindeki aktif tektonik ve bölgenin depremselliğine ilişkin jeolojik ve jeodezik yöntemler ile multidisipliner bir çalışma yürütülmektedir. Ecemiş fayının Demirkazık ve Pozantı segmentleri üzerinde gerçekleştirilmekte olan paleosismoloji çalışmaları ile geçmişte meydana gelmiş tarihsel/tarih öncesi depremlerin yöntemlerle belirlenmesi; tarihsel/tarih öncesi deprem aktivitesi, eski depremlerdeki büyüklük, kayma miktarı ve hızları, deprem tekrarlanma aralığı, son depremden sonra geçen sürenin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda Demirkazık ve Pozantı segmentleri üzerinde hendek tabanlı paleosismoloji çalışmalarına ilişkin stratigrafik ve yaş tayin analizleri devam etmektedir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma “Ecemiş Fayı’Nın Kabuksal Deformasyonunun Jeodezik ve Paleosismolojik Yöntemlerle İncelenmesi” isimli 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmektedir. Desteklerinden dolayı TÜBİTAK ve GNSS ağında yer alan noktalara ilişkin veri teminin sağlanmasında çalışmayı destekleyen Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğü’ne teşekkür ederiz.

### **Yazarların Katkısı**

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Aktug, ~ B., Lenk, O., Gürdal, M.A., and Kilicoglu, A., (2009). Establishment of regional reference frames for detecting active deformation areas in Anatolia. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 2 (53), 169–183. <http://doi.org/10.1007/s11200-009-0011-0>
- Aktug, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M. A., and Özdemir, S., (2013). Deformation of Central Anatolia: GPS implications. *Journal of Geodynamics*, 67: 78-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2012.05.008>
- Aktuğ, B., Tiryakioğlu, İ., Sözbilir, H., Özener, H., Özkaymak, Ç., Yiğit, C. O., Solak, H. İ., Eyübagil, E. E., Gelin, B., Tatar, O., and Softa, M. (2021). GPS Derived Finite Source Mechanism of the 30 October 2020 Samos Earthquake, Mw=6.9 in Aegean Extensional Region. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 718-737. <https://doi.org/10.3906/yer-2101-18>
- Ayhan, M.E., Aktug, ~ B., Acıkgöz, M., Demir, C., Lenk, O., and Reilinger, R., (2003, September). Contemporary Crustal Deformation in Turkey Constrained by Global Positioning System Measurements between 1992 and 2002. In: *International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian, and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology, and Field Training Course in Paleoseismology*, Ankara, The Cultural and Convention Center of the Middle East Technical University (METU).
- Barka, A., and Reilinger, R., (1997). Active Tectonics of the Eastern Mediterranean Region: Deduced from GPS, Neotectonic and Seismicity Data. *Annali Di Geofisica*, 40(3). <https://doi.org/10.4401/ag-3892>
- Baykal, O., Tari, E., ve Coşkun, Z., (2009). *Mühendislik Ölçmeleri: 2 Birsen Yayınevi, İstanbul.*
- Blumenthal, M. M., (1952). *New study about tectonic and stratigraphy, geography of high Aladag Mountain on Taurus*. Mineral Research and Exploration Institution, Ankara.
- Çiner, A. Aydar, E. Dirik, K. Rojay, B. Özsayın, E. Ersoy, O. Çubukçu, E. Kutluay, A. and Yıldırım, C. (2011). Vertical Anatolian Movement Project (VAMP), TÜBİTAK Project No: 107Y333. Retrieved from Researchgate [PDF Document] Online Web site: [https://www.researchgate.net/publication/253408242\\_Vertical\\_Anatolian\\_Movements\\_Project\\_VAMP\\_a\\_collaborative\\_research\\_project\\_of\\_the\\_TopoEurope\\_initiative\\_of\\_ESF](https://www.researchgate.net/publication/253408242_Vertical_Anatolian_Movements_Project_VAMP_a_collaborative_research_project_of_the_TopoEurope_initiative_of_ESF)
- Dirik, K., and Göncüoğlu, M. C., (1996). Neotectonic Characteristics of Central Anatolia. *International Geology Review*, 38: 807-817. <http://dx.doi.org/10.1080/00206819709465363>
- Çetin, H., (2000, Kasım). Ecemiş Fayı Üzerinde Paleosismolojik Kazı Çalışmaları. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 4. Toplantısı(p.39)*, Eskişehir, Turkey.
- Dirik, K., Göncüoğlu, M. C. (1996). Neotectonic Characteristics of Central Anatolia. *International Geology Review*, 38, 807-817. <http://dx.doi.org/10.1080/00206819709465363>
- Dirik, K., (2001). Neotectonic Evolution of the Northwestward Arched Segment of the Central Anatolian Fault Zone, Central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 14, 147-158. [http://dx.doi.org/10.1016/S0985-3111\(00\)01056-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0985-3111(00)01056-1)
- Duman, T. Y., Emre, Ö., Özalp, S., Çan, T., Olgun, Ş., Elmacı, H., and Şaroğlu, F., (2017). *Türkiye ve yakın çevresindeki diri faylar ve özellikleri, Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı (Ed. T.Y. Duman)*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara-Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., and Çan, T., (2016). Active Fault Database of Turkey. *Bull Earthquake Engineering*.16, 3229-3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- Gezgin, C., Tiryakioğlu, İ., Ekercin, S., and Gürbüz, E., (2020). Monitoring of Tectonic Movements of Southern Part of the Tuz Gölü Fault Zone (TGFZ) with GNSS Observations. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (3),456-464 (in Turkish with English abstract). <https://doi.org/10.35414/akufemubid.690886>
- Gezgin, C., Ekercin, S., Tiryakioğlu, İ., Aktuğ, B., Erdoğan, H., Gürbüz, E., Orhan, O., Bilgilioğlu, S. S., Torun, A. T., Gündüz, H. İ., Oktar, O., Türkmen, C., and Kaya, E., (2022). Determination of recent tectonic deformations along the Tuz Gölü Fault Zone in CentralAnatolia (Turkey) with GNSS observations. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 31(1),20-33. <https://doi.org/10.3906/yer-2108-10>
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., and Olgun Ş (2013). *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1:1.250.000*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara,Türkiye.
- Eyübagil, E. E., Solak, H. İ., Kavak, U. S. Tiryakioğlu, I., Sozbilir, H.,Aktuğ, B., and Özkaymak, Ç., (2021). Present-day strike-slip deformation within the southern part of the Izmir-Balikesir Transfer Zone Based



- on GNSS Data and Implications for Seismic Hazard Assessment in western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30 (2), 143-160. <https://doi.org/10.3906/yer-2005-26>
- Eyübagil, E. E., Şafak Yaşar, Ş., Çakanşimşek, E. B., Duman, H., Solak, H. İ., Özkan, A., Gezgin, C., Yavaşoğlu, H. H., Tiryakioğlu, İ., Poyraz, F., Aktuğ, B., Yiğit, C. Ö., Özkaymak, Ç., and Özener, H., (2023). 6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil Gaziantep (Mw:7.7) ve Ekinözü Kahramanmaraş (Mw:7.6) Depremlerinin GNSS Gözlemlerine Bağlı Öncül Sonuçları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23, 160-176. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1251601>
- Ketin, İ., (1960). 1/2500000 Ölçekli Türkiye Tektonik Haritası Hakkında Açıklama (Notice Ekplivative). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 54(54), 1-7.
- Koçyiğit, A., and Beyhan, A., (1998). A New Intracontinental Transcurrent Structure: the Central Anatolian Fault Zone. *Tectonophysics*, 284, 317–336. [http://doi.org/10.1016/s0040-1951\(97\)00176-5](http://doi.org/10.1016/s0040-1951(97)00176-5)
- Koçyiğit, A., (2003). Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği (TPJD) Bülteni*, 5, 1-26.
- Koçyiğit, A., and Erol, O., (2001). A Tectonic Escape Structure: Erciyes Pull-Apart Basin, Kayseri, Central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 14, 133–145. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432439>
- Koçyiğit, A., and Özacar, A., A., (2003). Extensional Neotectonic Regime Through the NE Edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12 (1), 67-90.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., and Ergintav S., (2000). Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695-5719. <https://doi.org/10.1029/1996JB900351>
- McKenzie, D., (1972). Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30:109–185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x>
- Metz, K., 1956, Ein Beitrag zur Kenntiiis des Gebirgbaues von Aladağ aind Karanfil Dağı und ihres Westrandes (Kilikische Taurus): *MTA Bülteni*, 48, 68-78.
- Özkan, A., Solak, H. İ., Tiryakioğlu, İ., Şentürk, M. D., Aktuğ, B., and Yavaşoğlu, H. H. (2023). Characterization of the co-seismic pattern and slip distribution of the February 06, 2023, Kahramanmaraş (Turkey) earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6) with a dense GNSS network. *Tectonophysics*, 866, 230041. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230041>
- Pavoni, N., (1961). *Die Nordanatolische Horizontalverschiebung*. Geologischen Rundschau, 51, Rundschau, Band.
- Platzman, E.S., Tapirdamaz, C., and Sanver, M., (1998). Neogene Anticlockwise Rotation of Central Anatolia (Turkey): Preliminary Palaeomagnetic and Geochronological Results. *Tectonophysics*, 299, 175–189. [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00204-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00204-2)
- Reilinger, R., McClusky, S., Oral, M., King, R., Toksoz, M., Barka, A., Kinik, I., Lenk, O., Sanli I., (1997). Global Positioning System Measurements of Present-day Crustal Movements in the Arabia–Africa–Eurasia Plate Collision Zone. *Journal of Geophysical Research*, 102, 9983–9999. <https://doi.org/10.1029/96JB03736>
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Özener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M, Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., Arrajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., and Evren, E., (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions. *Journal of Geophysical Research*, 111.
- Sarıkaya, M. A., Yıldırım, C., Çiner, A., (2015). No Surface Breaking on the Ecemiş Fault, Central Turkey, Since Late Pleistocene (~ 64.5 ka); New Geomorphic and Geochronologic Data from Cosmogenic Dating of Offset Alluvial Fans. *Tectonophysics*, 649, 33-46. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.02.022>
- Simão, N. M., Nalbant, S. S., Sunbul, F., and Mutlu, A. K., (2016). Central and Eastern Anatolian Crustal Deformation Rate and Velocity Fields Derived From GPS and Earthquake Data. *Earth and Planetary Science Letters*, 433, 89-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2015.10.041>
- Şafak, Ş., Tiryakioğlu, İ., Erdoğan, H., Solak, H. İ., and Aktuğ, B. (2020). Determination of parameters affecting the accuracy of GNSS station velocities. *Measurement*, 164, 108003. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108003>
- Şafak Yaşar, Ş., Eyübagil, E. E., and Çakanşimşek, E. B., (2023). 23.11. 2022 (Mw: 5.9) Gölyaka- Düzce Depreminde TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Davranışlarının İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23 (3), 712-721. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1230545>
- Şengör, A. M. C., (1979). The North Anatolian Transform Fault: its Age, Offset, and Tectonic Significance. *Journal of the Geological Society*, 136 (3), 269–282. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.136.3.0269>

- Şengör, A. M. C., (1980). *Türkiye'nin neotektoniğinin esasları*. Ankara, Türkiye: Türkiye Jeoloji Kurumu.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., and Şaroğlu F., (1985). Strike-slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Special Publication 37, 227-264. <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0211>
- Tatar, O., Piper, J.D.A., Gürsoy, H., and Temiz, H., (1996). Regional Significance of in Central Turkey. *International Geology Review*, 38, 692-700. <https://doi.org/10.1080/00206819709465353>
- Tatar, O., Gürsoy, H., and Piper, J.D.A., (2002). Differential Neotectonic Rotations in Anatolia and the Tauride Arc: Palaeomagnetic Investigation of the Erenlerdag Volcanic Complex and Isparta volcanic district, South-Central Turkey. *Journal of the Geological Society*, 159, 281-294. <https://doi.org/10.1144/0016-7649>
- Tiryakioğlu, İ., Dereli, M. A., Erdoğan, S., ve Gülal, E. (2010). Tektonik hareketlerin belirlenmesine yönelik ölçü kampanyalarında GNSS gözlem sayı ve sürelerinin konum doğruluğuna olan etkilerinin araştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 32-38.
- Tiryakioğlu, I., Yiğit, C.O., Yavaşoğlu, H., Saka, M.H., and Alkan, R.M., (2017a). The Determination Of Interseismic, Coseismic And Postseismic Deformations Caused By The Gökçeada-Samothraki Earthquake (2014, Mw: 6.9) Based On GNSS Data. *Journal of African Earth Sciences*, 133, 86-94. <http://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.05.012>
- Tiryakioğlu, I., Yavasoglu, H., Ugur, M. A., Özkaymak, Ç., Yilmaz, M., Kocaoglu, H., and Turgut, B. (2017b). Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van earthquakes using long-term GNSS time series. *Earth Sciences Research Journal*, 21(3), 147-156. <http://dx.doi.org/10.15446/esrj.v21n3.62812>
- Tiryakioğlu, I., Aktuğ, B., Yiğit, C.Ö., Yavaşoğlu, H.H., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Poyraz, F., Taneli, E., Bulut, F., Doğru, A., and Özener, H. (2018). Slip Distribution and Source Parameters of the 20 July 2017 Bodrum-Kos Earthquake (Mw6.6) From GPS Observations, *Geodinamica Acta*, 30, 1-14. <https://doi.org/10.1080/09853111.2017.1408264>
- Toprak, V., and Göncüoğlu, M. C., (1993). Tectonic Control on the Development of the Neogene-Quaternary Central Anatolian Volcanic Province, Turkey. *Geological Journal*, 28 (3-4): 357-369.
- Yenice, E., Tiryakioğlu, İ., Yilmaz, M., ve Solak, H. İ., (2023). Büyük Depremler Sonrası Kadastral Noktalardaki Değişimlerin İzlenmesi: 30.10.2020 Sisam Depremi (Mw:6.9) Örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (3), 810-815. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1268589>
- Yetiş, C., (1978). *Çamardı (Niğde) Yakın ve Uzak Dolayının Jeoloji İncelemesi ve Ecemiş Yarılm Kuşağı'nın Maden Boğazı-Kamuşlu Arasındaki Özellikleri*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım, C., (2014). Relative Tectonic Activity Assessment of the Tuz Gölü fault zone; Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 630, 183-192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2014.05.023>
- URL-1: <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>, (Erişim Tarihi: 03.02.2024).
- URL-2: <https://www.afad.gov.tr/kahramanmarasta-meydana-gelen-depremler-hk-34>, (Erişim Tarihi: 10.02.2024).
- URL-3: <https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Sayfalar/Giris.aspx>, (Erişim Tarihi: 12.01.2024).



## Karbon Ayak İzi Hesaplamalarında Enerji Tüketiminin Örnek Bir Çalışma ile İncelenmesi

Gözde TOSUN<sup>1</sup> , Özlem TUNÇ DEDE<sup>2\*</sup> 

### Öz

Karbon ayak izi, antropojenik etki sonucu çevreye verilen zararın sera gazı miktarı açısından bir ölçüsüdür. İnsanlık tarihinde çevreye verilen zararın miladı diyebileceğimiz Sanayi Devrimi sonrası artan enerji ihtiyacı ve doğru orantılı olarak artan enerji tüketimi birkaç yüzyıllık süreçte küresel ısınmaya sebep olmuştur. Bu nedenle karbon salımı, etkileri gözle görülebilir hale gelen iklim değişikliğinin ana sebeplerinden biridir. İklim değişikliğinin önüne geçilmesi, karbon salımının azaltılması, sürdürülebilirliğin sağlanması ve enerjinin yönetilebilir hale gelmesi için öncelikle kaybedilen enerji miktarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesinde bulunan Mühendislik Fakültesi binasının enerji tüketimleri belirlenerek açığa çıkan karbon emisyonları yıllık olarak hesaplanmıştır. Karbon emisyonları, Greenhouse Gas Protocol (GHG) Standartları çerçevesinde ve TSE EN ISO 14064 Sera Gazlarının Hesaplanmasına Dair Kılavuzları kullanılarak ton karbon dioksit eşdeğeri (tCO<sub>2</sub>e) cinsinden; karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>) ve diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) gazları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu, Mühendislik Fakültesinin karbon salım miktarları; 2020 yılında 307,2 tCO<sub>2</sub>e, 2021 yılında 240,97 tCO<sub>2</sub>e ve 2022 yılında ise 233,4 tCO<sub>2</sub>e olarak bulunmuştur. Ulusal kalkınma, sürdürülebilirlik ve insan yaşamının iyileştirilmesi hedeflenerek, yapılan değerlendirmeler ve kıyaslamalar sonucu ortaya çıkan karbon miktarlarının azaltılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon ayak izi, enerji tüketimi, iklim değişikliği, sürdürülebilirlik.

## Investigation of Energy Consumption in Carbon Footprint Calculations with a Case Study

### Abstract

Carbon footprint is a measure of the damage caused to the environment as a result of anthropogenic impact in terms of the amount of greenhouse gases. After the Industrial Revolution, which we can call the milestone of environmental damage in human history, the increasing need for energy and the directly proportional increase in energy consumption have caused global warming in a few centuries. Therefore, carbon emission is one of the main causes of climate change, the effects of which have become visible. In order to prevent climate change, reduce carbon emissions, ensure sustainability and make energy manageable, the amount of energy lost must first be determined. In this study, the energy consumption of the Faculty of Engineering building located in Giresun University Güre Campus was determined and the carbon emissions released were calculated annually. Carbon emissions are calculated in tons of carbon dioxide equivalent (tCO<sub>2</sub>e) in accordance with the Greenhouse Gas Protocol (GHG) Standards and TSE EN ISO 14064 Guidelines for the Calculation of Greenhouse Gases, taking into account carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), methane (CH<sub>4</sub>) and diazotmonoxide (N<sub>2</sub>O) gases. As a result of the calculations, the carbon emission amounts of the Faculty of Engineering were found to be 307,2 tCO<sub>2</sub>e in 2020, 240,97 tCO<sub>2</sub>e in 2021 and 233,4 tCO<sub>2</sub>e in 2022. With the aim of national development, sustainability and improvement of human life, recommendations have been made to reduce the carbon amounts resulting from the evaluations and comparisons made.

**Keywords:** Carbon footprint, energy consumption, climate change, sustainability.

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, [gzdetsn@gmail.com](mailto:gzdetsn@gmail.com)

<sup>2</sup>Giresun Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye, [ozlem.dede@giresun.edu.tr](mailto:ozlem.dede@giresun.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

## 1. Giriş

Ülkelerin refah seviyelerini belirleyebilecek güçte olan enerji, büyük bir ihtiyaç haline gelerek üretim-tüketim dengesinde, ulaşımdan uluslararası ticarete pek çok farklı alanda önemli bir rol üstlenmektedir. Enerjiye duyulan bu yoğun ihtiyaç doğru orantılı olarak enerji tüketiminin de artmasına neden olmuştur. Enerjinin hem üretiminin hem de tüketiminin çevre sorunlarına neden olduğu bilinmektedir. Bu çerçeveden bakıldığında sanayileşmenin getirdiği kentleşme, nüfus artışı, üretim-tüketim dengesinin artışı ve teknolojik ilerlemeler çevreyi doğrudan etkilemektedir. Birbirine endekli bu kavramlar aslında sorunun ne kadar basit kaynaklı olduğunu ve bir yandan da nasıl bir sarmal içinde olduğunu göstermektedir.

Enerji kaynakları genel olarak yenilenemez enerji kaynakları (kömür, petrol, doğalgaz vb. yakıtlar) ve yenilenebilir enerji kaynakları (güneş, rüzgar, dalga ve su gibi) olmak üzere iki kategoride sınıflandırılır. Enerji kaynaklarını ayrıca, herhangi bir değişime uğramadan yani dönüştürülmeden kullanılan birincil enerji kaynakları (kömür, petrol, doğalgaz, hidrolik, rüzgar, güneş, biyokütle, jeotermal, hidrojen ve dalga enerjileri gibi) ve birincil enerji kaynaklarının değişime uğrayarak başka bir forma dönüşmesiyle oluşan ikincil enerji kaynakları (elektrik, benzin, mazot, motorin, ikincil kömür, petrokok, LPG (Sıvılaştırılmış Petrol Gazı) gibi) olarak iki ayrı kategoride de incelemek mümkündür (Koç ve ark., 2018).

Enerjiye olan yoğun ihtiyaç, özellikle kömür ve petrol gibi yenilenemez enerji kaynaklarının gün geçtikçe tükenmesine sebep olurken, bir yandan da çevre ve canlılar üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Ülkelerin coğrafi konumuna, nüfusuna, şehirleşme planlarına, gelişmişlik düzeylerine ve ekonomik gücüne bağlı olarak değişmekle birlikte, bu olumsuz etkiler arasında, çevre kirliliği, salgın hastalıklar, tarım alanlarının zarar görmesi ve doğal afetler sayılabilir (URL-1). Son yıllarda gündemde yer bulan küresel ısınma ve iklim değişikliği özellikle fosil yakıt tüketimi ile doğrudan ilişkilidir. Küresel ısınma, ortalama dünya sıcaklığının insan faktörüyle veya doğal bir şekilde artması olarak ifade edilmektedir. Dünyanın aldığı ve yansıttığı güneş miktarları ve aradaki sıcaklığın bir kısmının atmosferdeki sera gazları tarafından tutulması ile önce atmosferin buna bağlı olarak da yerkürenin sıcaklığında artış meydana gelmektedir (Aksay ve ark., 2005). Bu sıcaklık artışına bağlı olarak dünyada bölgesel değişimler gözlemlenmektedir. Özellikle son yıllarda görülen büyük yangınlar, seller ve salgın hastalıklar küresel olarak tehditler olarak karşımıza çıkmaktadır. Yaşanan bu olaylar ise iklim değişikliği kavramını beraberinde getirmiştir. İklim değişikliği "*belli bir bölgede yağış oranı ve sıcaklık seviyesi gibi hava olaylarında uzun bir süre boyunca görülen ve istatistiksel olarak anlamlı değişimler*" olarak tanımlanabilir (Uysal, 2022). Bu sorunları çözüme kavuşturmak için ise soruna neden olan enerji tüketimlerinin miktarlarının bilinmesi gerekmektedir. Bu bağlamda yapılan hesaplamalar ile alternatif çözüm önerileri sunulabilir ve etkileri azaltılabilir.

Karbon ayak izi, insanların küresel ısınmaya neden olduğu olumsuz katkıların ölçülmesi amacıyla kullanılan; ulaşım, ısınma, satın alınan ürünler ve tüketilen enerji sonucu atmosfere yayılan karbon miktarını gösteren bir kavramdır (Kaypak, 2013). İnsan faaliyetleri sonucu çevreye verilen zararın sera gazı miktarı açısından bir ölçüsü olarak tanımlanan karbon ayak izi ayrıca bütün karbon emisyonlarının toplamı olarak da ifade edilebilir. Tüm sera gazları, karbondioksit eşdeğeri cinsinden hesaplanmaktadır (Carfi, 2022). Karbon ayak izi iki kategoride değerlendirilebilir (Binboğa ve Ünal, 2018):

- Birincil karbon ayak izi, doğrudan etkili olmak üzere enerji tüketimi ve ulaştırma sonucu ortaya çıkan emisyonların ölçüsüdür.
- İkincil karbon ayak izi ise dolaylı olarak örneğin kullandığımız, satın aldığımız ürünlerden dolayı ortaya çıkan emisyonlardır.

Karbon ayak izi hesaplamalarında, 2006 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) rehberlerine göre karbondioksit (CO<sub>2</sub>), metan (CH<sub>4</sub>), diazotmonoksit (N<sub>2</sub>O) ve florlu gazlar (F-gazları) doğrudan sera gazları olarak kapsama dahil edilmektedir (URL-2). Dolaylı olan sera gazlarının ise azot oksitler (NO<sub>x</sub>), metan dışı uçucu organik bileşikler (NMVOC), karbon monoksit (CO) ve kükürt dioksit (SO<sub>2</sub>) oldukları bilinmektedir (TSE, 2022).

Literatürde özellikle üniversiteler özelinde yürütülen karbon ayak izi hesaplama çalışmalarında ise; bina ve ulaşım tüketimleri belirlenerek elde edilen verilerin genellikle GHG protokolü ve ISO 14064-1 standartı çerçevesinde, IPCC Tier-1 metodolojisi, ANNEX DEFRA gibi dönüşüm faktörleri kullanılarak değerlendirildiği görülmektedir. Erciyes Üniversitesi'ndeki karbon emisyonlarının belirlenmesi için yürütülen bir çalışmada, Endonezya Üniversitesi (UI) tarafından duyurulan UI GreenMetricPlatformu ve IPCC Tier-1 ve Tier-2 olmak üzere iki farklı yöntem kullanılarak üniversitenin elektrik tüketimi ve ulaşım kaynaklı emisyonları hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Gürsoy, 2023). Hesaplama değerlerine göre, 2017 yılında 27.304 tCO<sub>2</sub>e, 2018 yılında 25.243 tCO<sub>2</sub>e ve 2019 yılında 25.721 tCO<sub>2</sub>e salım olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Kumaş ve ark. (2019) tarafından Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Bucak Sağlık Yüksekokulu'nun yıllık karbon ayak izi miktarı DEFRA Annex metodu ile hesaplamıştır (Kumaş ve ark., 2019). 2017 yılına ait karbon salım miktarı 217,5 tCO<sub>2</sub>e olarak elde edilmiştir. En çok salınının ısınma (doğalgaz) kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Başoğul (2018) tarafından yürütülen bir çalışmada ise, Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesindeki akademik ve idari personelin karbon ve ekolojik ayak izleri hesaplanmıştır (Başoğul, 2018). Verilerin gıda, ulaşım, barınma ve tüketim hizmetlerini kapsayan bir anket uygulaması sonucu elde edildiği çalışmada, Doğal Hayatı Koruma Vakfı (WWF) tarafından geliştirilen ekolojik ayak izi hesaplama motoru kullanılmıştır. Genel olarak elde edilen sonuçların

dünya ve Türkiye ortalamasının altında olduğu ifade edilen çalışmada, fakültenin ortalama ekolojik ayak izi kişi başına 2,53 kha ve karbon ayak izi 15,55 tCO<sub>2e</sub> olarak tespit edildiği görülmüştür. Binboğa ve ark. (2018) ise Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin karbon ayak izini IPCC Tier 1 metodu kullanılarak hesaplamıştır ve 2016 yılı için hesaplanan emisyon değerini 8.953,906 tCO<sub>2e</sub> olarak bulmuştur (Binboğa ve ark., 2018). Emisyon oluşumunda en büyük payın elektrik kaynaklı tüketimlerin olduğu tespit edilmiştir.

Bu çalışmada, Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesinde yer alan Mühendislik Fakültesi binası için enerji tüketim verileri kullanılarak karbon ayak izi hesaplamaları yapılmıştır. Karbon ayak izi hesaplamalarında, Sera Gazı Envanterinin belirlenmesinde kabul görmüş olan GHG Protokolü ve TSE ISO 14064 Sera Gazı Envanteri Standartlarından faydalanılmıştır (URL-2 ve 4, TSE, 2019a,b,c). Bu çalışma ile fakülte binasının sadece enerji tüketimi kaynaklı karbon salımı belirlenerek, enerji tasarrufu konusunun ne kadar önemli olduğu, sürdürülebilirlik adına neler yapılabileceği konularına vurgu yapılmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada, 2020, 2021 ve 2022 yılları için Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesi'nde yer alan Mühendislik Fakültesi binasının enerji tüketim verileri kullanılarak karbon ayak izi hesabı yapılmıştır. Karbon ayak izi hesaplamalarında, TSE ISO 14064 Sera Gazı Envanteri Standartlarından ve GHG Protokolü'nden faydalanılmıştır (TSE 2019a,b,c, URL-2 ve 4). Enerji tüketimi kapsamına sadece doğalgaz ve elektrik tüketimleri dahil edilmiştir. Dolaylı sera gazı bileşenleri önemsiz kabul edilmiştir.

GHG Protokolü, sera gazı envanteri hesaplamalarında ölçüm ve raporlamalarının ana çerçevesini oluşturan bir uygulama olup, genellikle üç kapsamda incelenmektedir:

- Kapsam 1: Doğrudan Oluşan Emisyonlar (örn. fosil yakıt)
- Kapsam 2: Enerji Kaynaklı Dolaylı Emisyonlar (örn. elektrik)
- Kapsam 3: Diğer Dolaylı Emisyonlar

TSE ISO 14064 Sera Gazı Envanteri Standartları ise ulusal standartlar olarak kabul görmüş olup, sera gazı envanteri hesaplama ve iyileştirme çalışmalarında kullanılmakta olup, 3 ana kılavuzdan oluşmaktadır:

- ISO 14064-1: Sera gazı salımlarının ve uzaklaştırmalarının kuruluş seviyesinde hesaplanmasına ve raporlandırılmasına dair kılavuz (TSE, 2019a).
- ISO 14064-2: Sera gazının azaltılması veya giderilmesi iyileştirmelerinin miktarının belirlenmesi, izlenmesi ve raporlandırılması (TSE, 2019b).

- ISO 14064-3: Sera gazı beyanlarının doğrulanması ve geçerli kılınmasına dair özellikler ve kılavuz (TSE, 2019c).

Bu üç kılavuz, sera gazının hesaplanması adına yapılacak çalışmaların sınırlarına, sera gazlarının azaltılması için neler yapılması gerektiğine ve bunların kabul edilebilirliğini belirleyen şartları içermektedir. TSE tarafından verilen önerilerde, raporlandırılan her verinin kanıtlanabilir olması ve kuruluşun yapısına uygun şekilde detaylandırılması tavsiye edilmektedir (TSE, 2019a)

Bu çalışmada, karbon ayak izi hesaplamasında, GHG Protokolü ve TS ISO 14064 standartları kapsamında, yakıt girdisi sonucu oluşan ürünler veya atıklardan dolayı açığa çıkan emisyonun hesap edilmesini temel alan Standart Yöntem kullanılmıştır. Matematiksel ifadesi Eşitlik 1’de gösterilmiştir:

$$E = FV \times EF \times YF \quad (1)$$

Burada;

E: Emisyonlar (tCO<sub>2</sub>)

FV: Faaliyet verisi

EF: Emisyon faktörü (kg/TJ)

YF: Yükseltgenme faktörüdür (birimsizdir ve yakıtlar için 1 olarak kabul edilmektedir).

Eşitlik 1’de yer alan FV, eşitlik 2 kullanılarak hesaplanabilir:

$$FV = \text{Yakıt Miktarı} \times NKD \quad (2)$$

Burada,

NKD: Net kalorifik değerdir (TJ/Gg).

Aksi bir durum yoksa gaz ve sıvı yakıtlar için faaliyet verisi Eşitlik 3 kullanılarak kütleyle çevrilir. NKD değeri ise IPCC raporlarından elde edilir.

$$d = m / v \quad (3)$$

Burada,

d: Yoğunluk (g/L)

m: kütle (g)

V: Hacim (L)’dir.

Hesaplamalarda kullanılan kütle, hacim, enerji gibi faaliyet verileri, emisyon faktörü, kalorifik değer, küresel ısınma potansiyeli, yoğunluk ve oksitlenen karbon yüzdesi faktörleri ve bu faktörlerin tüketilen yakıt türüne göre değişkenleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Karbon ayak izi hesaplamalarında kullanılan eşitlikler ve emisyon faktörleri değerleri

Emisyon Kaynakları	Açıklama												
Tüketim Verileri: Isınma ve elektrik kaynaklı tüketimler sonucu oluşan emisyonlar dahil edilmiştir.	Kapsam 1 (doğrudan oluşan emisyonlar): Isınma ve Doğalgaz Kapsam 2 (dolaylı oluşan emisyonlar): Elektrik												
Emisyon Faktörü: IPCC verileri kullanılarak, yakıt türüne göre emisyon faktörleri seçilmiştir (URL-3).	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>CO<sub>2</sub> (kg/TJ)</th> <th>CH<sub>4</sub> (kg/TJ)</th> <th>N<sub>2</sub>O (kg/TJ)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Doğalgaz</td> <td>56100</td> <td>1</td> <td>0,1</td> </tr> <tr> <td>Elektrik</td> <td colspan="3">0,484 (kg/kWh)</td> </tr> </tbody> </table>		CO <sub>2</sub> (kg/TJ)	CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O (kg/TJ)	Doğalgaz	56100	1	0,1	Elektrik	0,484 (kg/kWh)		
	CO <sub>2</sub> (kg/TJ)	CH <sub>4</sub> (kg/TJ)	N <sub>2</sub> O (kg/TJ)										
Doğalgaz	56100	1	0,1										
Elektrik	0,484 (kg/kWh)												
Net Kalorifik Değer (NKD): Birim yakıttan elde edilebilecek enerjiyi ifade eden NKD değeri, IPCC raporlarından elde edilmiştir (URL -3).	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NKD (TJ/Gg)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Doğalgaz</td> <td>48,0</td> </tr> </tbody> </table>		NKD (TJ/Gg)	Doğalgaz	48,0								
	NKD (TJ/Gg)												
Doğalgaz	48,0												
Küresel Isınma Potansiyeli (KIP): Karbondioksitin etkisinin bir birim kabul edilmesi halinde, her bir gazın belirli bir zaman diliminde (örneğin 100 yıllık zaman dilimi için) atmosferdeki göreceli etkisini gösteren bir değer olup, GHG Protokolü’nde verilen tablodan belirlenmiştir (URL-2).	<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>KIP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CO<sub>2</sub></td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>CH<sub>4</sub></td> <td>21</td> </tr> <tr> <td>N<sub>2</sub>O</td> <td>310</td> </tr> </tbody> </table>		KIP	CO <sub>2</sub>	1	CH <sub>4</sub>	21	N <sub>2</sub> O	310				
	KIP												
CO <sub>2</sub>	1												
CH <sub>4</sub>	21												
N <sub>2</sub> O	310												
Yoğunluk (URL-5)	Doğalgaz: 0,67 kg/m <sup>3</sup>												
Oksitlenen Karbon Yüzdesi: Yanan karbonun ne kadarının oksidasyona uğradığının hesaplanması neticesinde belirlenen değer olup, IPCC Tier-1 yaklaşımlarında genellikle 1 olarak kabul edilir (URL-3).	Doğalgaz: 0,995=1												

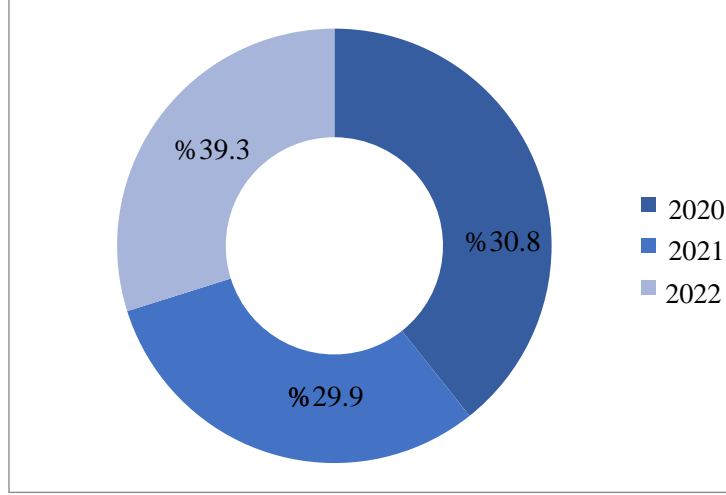
### 3. Bulgular ve Tartışma

Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesi’nde yer alan Mühendislik Fakültesi binası temel alınarak yürütülen bu çalışmada, fakültesinin 2020, 2021 ve 2022 yılları için enerji tüketim verileri kullanılmış ve karbon ayak izi hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan faktörlerin değerleri ve ayrıca 2020, 2021 ve 2022 yılları için hesaplanan karbon emisyon değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

**Tablo 7.** Mühendislik Fakültesinin Emisyon Hesaplamaları

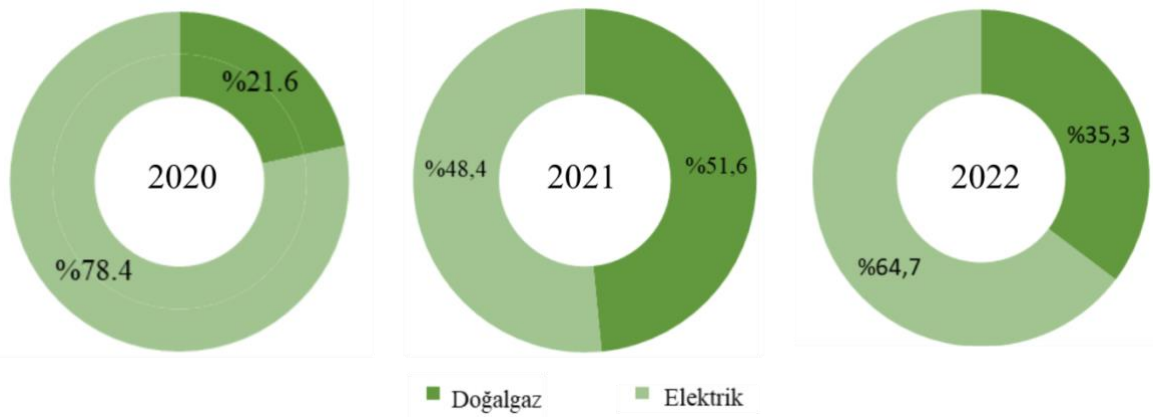
Sera Gazı	Enerji Türü	Tüketim	Yoğunluk (kg/l)	Tüketim (ton)	NKD (TJ/Gg)	Enerji Tüketimi (TJ)	Emisyon Faktörü (kg/TJ)	Emisyon (ton)	Oksitlenen Karbon Yüzdesi	KİP	CO <sub>2</sub> Emisyonu (t CO <sub>2</sub> e)
<b>2020</b>		<b>(m<sup>3</sup>)</b>									
CO <sub>2</sub>	Doğalgaz	36.800	0,67	24,65	48	1,18	56.100	66,39	1	1	66.,9
CH <sub>4</sub>	Doğalgaz	36.800	0,67	24,65	48	1,18	1	0,0000118	1	21	0,0002478
N <sub>2</sub> O	Doğalgaz	36.800	0,67	24,65	48	1,18	0,1	0,00000001	1	310	0,000031
		<b>(kWh)</b>					(kg/kWh)				
	Elektrik	497.573					0,484				240,83
<b>2020 Yılı Toplam Emisyon</b>											<b>307,21</b>
<b>2021</b>		<b>(m<sup>3</sup>)</b>									
CO <sub>2</sub>	Doğalgaz	64.671	0,67	43,3	48	2,08	56.100	116,68	1	1	116,68
CH <sub>4</sub>	Doğalgaz	64.671	0,67	43,3	48	2,08	1	0,00208	1	21	0,0437
N <sub>2</sub> O	Doğalgaz	64.671	0,67	43,3	48	2,08	0,1	0,000208	1	310	0,0645
		<b>(kWh)</b>					(kg/kWh)				
	Elektrik	256.579					0,484				124,18
<b>2021 Yılı Toplam Emisyon</b>											<b>240,97</b>
<b>2022</b>		<b>(m<sup>3</sup>)</b>									
CO <sub>2</sub>	Doğalgaz	45.620	0,67	30,6	48	1,47	56.100	82,308	1	1	82.308
CH <sub>4</sub>	Doğalgaz	45.620	0,67	30,6	48	1,47	1	0,00147	1	21	0,0308
N <sub>2</sub> O	Doğalgaz	45.620	0,67	30,6	48	1,47	0,1	0,000147	1	310	0,0455
		<b>(kWh)</b>					(kg/kWh)				
	Elektrik	312.042					0,484				151,02
<b>2022 Yılı Toplam Emisyon</b>											<b>233,40</b>

Tablo 7’de verilen değerler incelendiğinde, Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binası için üç yıllık toplam karbon salımı 781,58 tCO<sub>2</sub>e olarak bulunmuştur. Şekil 1’de karbon emisyonlarının yıllara göre dağılımı verilmektedir. Elde edilen veriler, 3 yıl boyunca fakülte binasının karbon salımının birbirine yakın olduğunu göstermektedir.



Şekil 1. Emisyon Değerlerinin Yıllara Göre Dağılımı

Yıllara göre emisyon değerlerinin enerji türüne göre dağılımları Şekil 2’de sunulmuştur. 2020 yılı temel alındığında toplam emisyon miktarı 307,2 tCO<sub>2</sub>e olarak bulunmuştur. Şekil 2’de 2020 yılı toplam emisyonların enerji türüne göre dağılımı verilmiş olup, 2020 yılı toplam emisyonların oluşmasında en fazla elektrik kaynaklı tüketimlerin etkili olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 2. 2020, 2021 ve 2022 Yılları Emisyonlarının Enerji Türüne Göre Dağılımı

2021 yılı temel alındığında toplam salım miktarı 240,2 tCO<sub>2</sub>e olduğu hesaplanmıştır. 2021 yılı emisyonların enerji kaynağına göre dağılımı verilmiş olup, enerji türünün karbon ayak izindeki payının birbirine yakın bir dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.



2022 yılı temel alındığında toplam salım miktarı 233,4 tCO<sub>2e</sub> olduğu hesaplanmıştır. 2022 yılı Şekil 2'ye göre, 2022 yılı için yapılan karbon ayak izi hesaplamalarında en büyük payın elektrik kaynaklı emisyonlar olduğu görülmektedir.

Yapılan hesaplamalar neticesinde, toplam emisyondaki en büyük payın elektrik emisyonlarına ait olduğu tespit edilmiştir. 2020 yılının mart ayında başlayan ve 2021 yılında da etkisini sürdüren Covid19 pandemisi neticesinde uzaktan eğitime geçiş yapılmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Giresun ilinin ılıman iklime sahip olması, ısınma faaliyetlerinin oluşturduğu düşük karbon emisyonlarının düşük değerlerde kalmasını sağlarken uzaktan eğitim süreci ısınma ihtiyacının ve doğalgaz tüketiminin az olmasında etkili olmuştur.

**Tablo 8.** Literatür Araştırması Sonuçları

Çalışma Bölgesi	Yıl	CO <sub>2</sub> Salımı (tCO <sub>2e</sub> )	Kaynakça
Manisa Celal Bayar Üniversitesi	2016	8.953,9	Binboğa, G. ve ark. (2018)
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bucak Sağlık Yüksekokulu	2017	217,5	Kumaş, K ve ark. (2019)
Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	2022	15,55	Baçoğul, Y (2018)
Erciyes Üniversitesi Kampüsü	2019 2018 2017	25.721 25.243 27.304	Gürsoy, F (2023)
Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi	2022 2021 2020	307,2 240,97 233,4	Bu çalışma

Literatürdeki benzer çalışmalar incelendiğinde; çalışılan yıl, çalışılan alanın farklı nüfus yoğunluğunun olması ve farklı coğrafik – klimatolojik etkenler sebebi ile sonuçlar arasında önemli farklar olduğu görülmektedir. Çalışmaların ortak sonucunda ise, fosil kaynaklı enerji tüketiminin karbon ayak izini olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada; Giresun Üniversitesi Güre Yerleşkesi'nde bulunan Mühendislik Fakültesi binasının birincil karbon ayak izi, GHG Protokolü ve ISO standartları temelinde, IPCC Tier-1 metodu

kullanılarak hesaplanmış; fakülte adına farkındalık oluşturulması ve ulusal kalkınmaya, insan yaşamına, çevreye ve doğaya sürdürülebilir katkılar sunulması hedeflenmiştir.

Çalışmada, Mühendislik Fakültesi binasının 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki doğalgaz ve elektrik tüketimleri sonucu oluşan karbon ayak izi hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucu Mühendislik Fakültesinin karbondioksit emisyon değerleri; 2020 yılında 307,2 tCO<sub>2e</sub>, 2021 yılında 240,97 tCO<sub>2e</sub>, 2022 yılında ise 233,4 tCO<sub>2e</sub> olarak bulunmuştur. 2020 yılında diğer yıllara göre daha yüksek tespit edilen karbon emisyonunda elektrik tüketiminin daha fazla paya sahip olduğu görülmüştür. 2021 ve 2022 yılları için toplam emisyon değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu tespit edilmekle birlikte, 2021 yılı karbon emisyonunda elektrik ve doğalgaz tüketiminin yakın paylara sahip olduğu, 2022 yılı için ise elektrik tüketiminin daha yüksek paya sahip olduğu belirlenmiştir.

Yürütülen bu araştırmada yapılan karbon ayak izi hesaplamaları, sera gazı emisyonlarının enerji tüketimiyle doğru orantılı olduğu görülmektedir. Hesaplamalar sonucunda elde edilen veriler ışığında, 2020 Mart ayında başlayan Covid-19 pandemisinin karbon ayak izi miktarına etkisi değerlendirildiğinde kullanılan enerji türünün (elektrik ya da doğalgaz) tüketim miktarlarında farklılıklar olduğu belirlenmiş, toplam değerde çok büyük bir değişiklik olmadığı tespit edilmiştir. Fakat küresel olarak olağan hallerin dışında bir dönem yaşandığı için daha anlamlı istatistikler elde edilmesi açısından karbon ayak izi çalışmalarının sonraki yıllar için de hesaplaması ve yıllar bazında karşılaştırma yapılması önemlidir. Ayrıca yine pandemi nedeni ile akademik/idari personel ve öğrencilerin ulaşım verilerinin dahil edilemediği bu çalışma, enerji tüketimine ek olarak benzin/motorin gibi yakıt verilerinin kullanıldığı ulaşım kaynaklı açığa çıkan emisyon verileri de dahil edilerek genişletilebilir. Atık geri dönüşüm faaliyetlerinin ve Giresun ilinin coğrafi konumundan kaynaklı ormanlık alanlarının karbon ayak izini azaltıcı yönde bir etki yapacağı da göz ardı edilmemelidir. Tüm etkenler düşünüldüğünde, sera gazı emisyonunda önemli bir paya sahip olan enerji tüketimi için tasarruf çalışmaları yapılarak tüketimin azaltılmasına yönelik hedeflerin belirlenmesi karbon ayak izini azaltmak için önemli bir adım olacaktır. Elektrik tüketiminin ana kaynağı olan aydınlatma, ısıtma/soğutma, asansör ve bilgisayar kullanımında verimli teknolojilerin kullanılması ile enerji verimliliği sağlanabilir. Bu doğrultuda, binalarda ısı yalıtımı yapılarak ısı kayıplarının önlenmesi, fotoselli lambaların kullanımının artırılması, bilgisayar/yazıcı gibi elektronik cihazların gerektiğinde kapatılması, asansör yerine merdiven kullanımının tercih edilmesi gibi tedbirler karbon salımında etkili olabilecek ve verimliliği artıracak ilk eylemler olarak değerlendirilebilir. Bu önlemlerin dışında, fakültenin karbon salımını nötrleyebilmek için yenilenebilir sistemlerin kullanılması önemli bir adım olacaktır. Üniversite için temiz enerjiye geçiş sürdürülebilir kalkınma hedeflerinin başında yer alacaktır. Bu amaçla elektrik enerjisinin fotovoltaik paneller kullanılarak güneş enerjisinden elde edilmesi sağlanabilir. Bu amaçla 540 W'lık bir panelin günde 1 saat güneşlenme halinde ortalama 0,54 kW elektrik ürettiği kabul edildiğinde ve Meteoroloji

Genel Müdürlüğü tarafından Giresun ili için yıllık ortalama güneşlenme süresinin 2,2 saat/gün verildiği düşünüldüğünde, 540 W'lık bir panelin yıllık ortalama elektrik enerjisi üretim kapasitesi 433,6 kW  $[(0,54 \text{ kW/sa} * 2,2 \text{ sa/gün}) * 365 \text{ gün}]$  olacaktır (URL-6). Tablo 7'de sunulan Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasının 2020, 2021 ve 2022 yıllarındaki elektrik tüketim verileri baz alınarak üç yılın ortalama elektrik tüketim değeri 355.398 kW olarak hesaplanmış olup, yaklaşık 820 adet 540 W'lık fotovoltaik panele tekâmül ettiği tespit edilmiştir.

Üniversitelerde yürütülecek çalışmalar; sürdürülebilirlik ve iklim değişikliği konularında toplumsal farkındalık yaratılması ve çevre bilincinin artırılmasında oldukça önemlidir. Bu tür çalışmaların artırılması ve sürdürülmesi, karbon ayak izinin azaltılması için alınabilecek önlemler üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olacaktır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiş (Proje No: FEN-BAP-C-301221-02) ve ayrıca, Giresun Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi ev sahipliğinde 26-28 Ekim 2023 tarihlerinde gerçekleştirilen II. Uluslararası Çevre, Enerji ve Ekonomi Kongresi'nde (INTECONGRESS) sözlü bildiri olarak sunulmuştur.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- Aksay, C.S., Ketenoğlu, O. ve Kurt, L. (2005). Küresel Isınma ve İklim Değişikliği, *Selçuk Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Dergisi*, 1(25), 29-42.
- Başoğlu, Y., (2018). Akademisyen ve İdari Personelin Ekolojik ve Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi: Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Örneği, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* (6)3, 464-470.

- Binboğa, G. ve Ünal, A. (2018). Sürdürülebilirlik Ekseninde Manisa Celal Bayar Üniversitesi'nin Karbon Ayak İzinin Hesaplanmasına Yönelik Bir Araştırma, *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi* (21), 187-202.,
- Carfi., S. (2022). *Kamu Binalarının Karbon Ayak İzi Miktarındaki Rolü*, Yüksek Lisans Tezi, Şeyh Edebali Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Bilecik.
- Gürsoy, F., (2023). *Erciyes Üniversitesi Kampüsünde Karbon Ayak İzinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Kaypak, S., (2013). Ekolojik Ayak İzinden Çevre Barışına Bakmak, *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 1*, 154-159.
- Koç, A., Uğurlu, I. ve Yağlı H., (2018). Dünyada ve Türkiye'de Enerji Görünümünün Genel Değerlendirilmesi, *Mühendis ve Makina*, 59(692).
- Kumaş, K., Akyüz A., Zaman M. ve Güngör A. (2019). Sürdürülebilir Bir Çevre İçin Karbon Ayak İzi Tespiti: MAKÜ Bucak Sağlık Yüksekokulu Örneği, *El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi* 6(1), 108-117.
- TSE (2022), Sera Gazı Emisyonlarının ve Uzaklaştırmalarının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanması ve Raporlandırılması Eğitimi, Türk Standardları Enstitüsü, 2022.
- TSE (2019a), TS EN ISO 14064-1 : Sera Gazı Salımlarının ve Uzaklaştırmalarının Kuruluş Seviyesinde Hesaplanmasına ve Raporlanmasına Dair Kılavuz ve Özellikler, Türk Standardları Enstitüsü.
- TSE (2019b), TS EN ISO 14064-2 Sera Gazı Salım Azaltımlarının veya Uzaklaştırmalıyleştirmelerinin Proje Düzeyinde Hesaplanması, İzlenmesi ve Raporlanmasına Dair Kılavuz ve Özellikler, Türk Standardları Enstitüsü.
- TSE (2019c), TS EN ISO 14064-3 Sera Gazı Beyanlarının Doğrulanması ve Geçerli Kılınmasına Dair Özellikler ve Kılavuz, Türk Standardları Enstitüsü.
- URL-1: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevresel Göstergeler <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sectorlere-gore-nihai-enerji-tuketimi-i-85804> (Erişim Tarihi: 24 Aralık 2023)
- URL-2: [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29\\_1.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf) (Erişim Tarihi: 24 Aralık 2023)
- URL-3: IPCC Raporları <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/> (Erişim Tarihi: 24 Aralık 2023)
- URL 4-: World Resources Institute, The Greenhouse Gas Protocol. [https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29\\_1.pdf](https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values%20%28Feb%2016%202016%29_1.pdf) (Erişim Tarihi : 24. Aralık 2023)
- URL-5: <https://enerji.gov.tr/Media/Dizin/EVCED/tr/%C3%87evreVe%C4%B0klim/%C4%B0klimDe%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi/EmisyonFaktorleri/BilgiFormu.pdf> (Erişim Tarihi: 24 Aralık 2023)
- Uysal, Y., (2022) İklim Değişikliği ve Küresel Isınma ile Mücadelede Yerel Yönetimlerin Rolü: Tespitler ve Öneriler, *Kesit Akademi Dergisi* 8 (30), 324-354.
- URL-6: <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=GIRESUN> (Erişim Tarihi: 20 Mayıs 2024)

## Yenikaracaören (Kütahya) Bazaltlarının Demiryolu Balastı Olarak Kullanılabilirliği

Mehmet KOZAK<sup>1\*</sup> 

### Öz

Bu çalışma ile Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında; bazalt ocağında incelemeler yapılarak deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere örnekler alınmıştır. Alınan örnekler üzerinde fiziksel özelliklerin tespiti için Balast Teknik Şartnamesinde istenilen Los Angeles deneyi ile parçalanmaya karşı direnç tayini, Mikro-Deval ile aşınma direnci tayini, Magnezyum Sülfat deneyi, tane yoğunluğu ve su emme tayini deneyleri yapılmıştır. Kayacın köken ve isminin tespiti için ise petrografik analiz yapılmıştır. Polarizan mikroskop incelemesi sonucunda kayacın; magmatik kökenli yüzey kayacı olduğu tespit edilmiş ve Kayaçların Modal Minerolojik Sınıflamasına göre kayaç bazalt olarak tanımlanmıştır. Parçalanma direnci (Los Angeles aşınma direnci) % 11, tane yoğunluğu 2,73 Mg/m<sup>3</sup>, dona dayanıklılık (termal ve bozunma özelliği için MgSO<sub>4</sub> deneyi) değeri % 1, aşınmaya karşı direnç (Mikro-Deval) % 6, su emme oranı ise % 0,7 olarak bulunmuştur. Yapılan deneysel çalışmalar Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının; yüksek hızlı tren, hızlı tren ve konvansiyonel demiryolu hatlarında demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğini göstermiştir. Bu çalışma, yapımı devam eden Ankara-İzmir, proje aşamasında olan Eskişehir-Antalya yüksek hızlı tren hatlarına yakın konumda olan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının söz konusu bu hatların balast ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilirliği hakkında fikir sağlayacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Balast, Bazalt, Demiryolu balastı, Los Angeles, Mikro-Deval, Yenikaracaören Kütahya.

## Useability of Yenikaracaören (Kütahya) Basalts as Railway Ballast

### Abstract

This study aimed to investigate the usability of Yenikaracaören (Kütahya) basalts as railway ballast. Scope of work; Examinations were made in the basalt quarry and samples were taken to be used in experimental studies. In order to determine the physical properties of the samples taken, resistance to fragmentation was determined with the Los Angeles test required in the Ballast Technical Specification, abrasion resistance was determined with Mikro-Deval, Magnesium Sulphate test, grain density and water absorption were determined. Petrographic analysis was performed to determine the origin and name of the rock. As a result of polarizing microscope examination, the rock; It was determined to be a surface rock of magmatic origin and the rock was defined as basalt according to the Modal Mineralogical Classification of Rocks. Fragmentation resistance (Los Angeles abrasion resistance) is 11%, grain density is 2.73 Mg/m<sup>3</sup>, frost resistance (MgSO<sub>4</sub> test for thermal and degradation properties) value is 1%, abrasion resistance (Mikro-Deval) is 6%, water absorption rate is It was found to be 0.7%. Experimental studies conducted on Yenikaracaören (Kütahya) basalts; It has shown that it can be used as railway ballast in high - speed train, speed train and conventional railway lines. This study will provide insight into the usability of Yenikaracaören (Kütahya) basalts, which are located close to the Ankara-İzmir, which is under construction, and the Eskişehir-Antalya high - speed train lines, which are in the project phase, in meeting the ballast needs of these lines.

**Keywords:** Ballast, Basalt, Railway ballast, Los Angeles, Mikro-Deval, Yenikaracaören Kütahya.

<sup>1</sup>TCDD 7. Bölge Demiryolu Bakım Servis Müdürlüğü, Afyonkarahisar, Türkiye, mehmetkozak@tcdd.gov.tr

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 28.03.2024

Kabul/Accepted: 03.06.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Giriş

Hat olarak anılan özel bir yol üzerinde, mekanik olarak hareket eden araçlarla çekilen yük ve yolcu taşıma sistemlerine demiryolu denilmektedir (Kozak 2010). Demiryolu altyapı ve üstyapı olmak üzere iki ana bölümden oluşur (Kozak 2011). İstenilen hızlarda demiryolu araçlarının konforlu ve emniyetli bir şekilde hareket edebilmesini sağlamak amacıyla inşa edilmiş olan demiryolunda yol ile demiryolu araçlarının temasının gerçekleştiği bölüme demiryolu üstyapısı denilmektedir. Demiryolu üstyapısı; travers, ray, bağlantı malzemesi ve balasttan oluşmaktadır (Anonim 2016).

Demiryolu balastı, demiryolu üstyapısında traverse elastik bir yatak oluşturan, traverslerin aralarını dolduran ve traversler vasıtasıyla iletilen yükleri kalıcı çökmeye uğramadan kendi arasındaki sürtünme ile platforma yayarak ileten bir üst yapı elemanıdır. Demiryolu balastı, eriyen kar suları, yağmur suları vb. sularının drenajını sağlarlar. Demiryolu balastı, kare gözlü 22,4 mm elek üzerinde en az % 97'si kalan, 63 mm açıklıklı elekten ise % 100 geçen ve TCDD Balast Teknik Şartnamesinde istenilen gradasyon şartlarını sağlayacak şekilde keskin kenarlı ve keskin köşeli kırılmış, sağlam ve sert kayalardan üretilirler (Kozak, 2012; Oğul vd., 2012; Nâlsund, 2014; Kozak, 2021). Bazalt, granit, granodiyorit, gabro, diyabaz, siyenit, riyolit, diyorit, andezit, gnays, kuvarsit, porfir, silttaşı, kumtaşı, dolomit ve kireçtaşı (kalker) gibi kayalar demiryollarında balast olarak kullanılmıştır (Raymond, 1985; Okonta & Magagula 2011; Yılmaz 2015; Bayrak, 2018; Bassey vd., 2020; Kozak, 2021).

Kahraman ve Yapıcı (2022) Kurtpınar (Ceyhan) bazaltlarının konvansiyonel hatlarda demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğini belirlemişlerdir. Kozak (2021) TCDD tarafından 2020 yılında balast teknik şartnamesinin güncellenmesi ile balast olarak kullanılacak kayacın kökeni ve ismi ile ilgili koşulunun ortadan kaldırılmış olması neticesinde balast teknik şartnamesinde istenilen özellikleri sağlayan metamorfik, sedimanter ile eski teknik şartnamede ismi bulunmayan diğer magmatik kökenli kayaların demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğinin önünün açıldığını ve bunun balast maliyetine olumlu yönde etkisi olacağı konusunda değerlendirme yapmıştır.

Kozak (2023) balast teknik şartnamede istenilen Magnezyum Sülfat ve Mikro-Deval deneylerinin de yapılarak ve istenilen sınır değerleri karşılaması koşulu ile çalışmada kullanılan bazaltın konvansiyonel demiryolu hatlarında balast olarak kullanılabilirliği, çalışmada kullanılan kalkerin ise kullanılmayacağı sonucuna ulaşıldığını değerlendirmiştir. Kayaç türlerinin aynı olmasına rağmen kayaların farklı fiziksel özelliklere sahip olabileceğinin bilindiğinden, yeni yapılacak çalışmaların, balast olarak kullanılacak yeni kayaların tespitinde faydalı olacağını değerlendirmiştir.

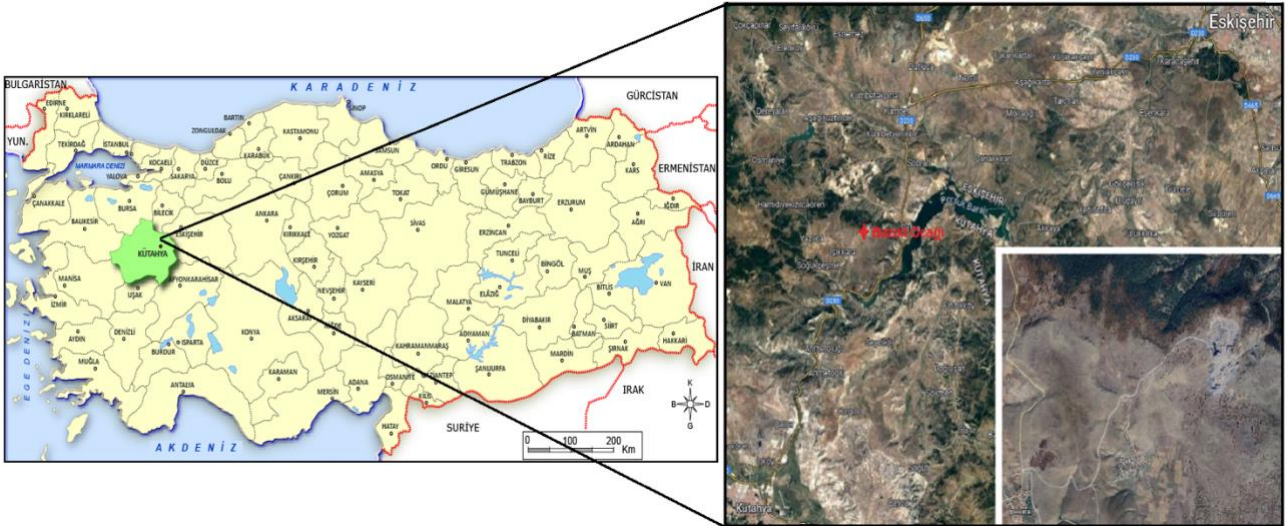
Sabancı (2018) Yapılan deneysel çalışmalar ile Solhan (Bingöl) ve Pazarcık (Kahramanmaraş) magmatik kayalarının demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği değerlendirmiştir. Kıpkaç (2023)

Van Gedikbulak bazaltlarının demiryolu ve karayolu yapımında balast malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerine bir çalışma yapmış ve yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlara göre demiryolu ve karayolu yapımında balast malzemesi olarak kullanılmasının uygun olduğunu değerlendirmiştir. Koralay vd. (2014) İnceler (Bozkurt-Denizli) ofiyolitler içerisindeki gabro dayklarının; petrografik, mineralojik, jeokimyasal ve fiziko-mekanik olarak inceleme sonuçlarına göre balast malzemesi olarak kullanılabilir nitelikte olduğu belirlemiştir.

Demiryolu projeleri için balast olarak kullanılacak kayaçların istenilen fiziksel özelliklerde olup olmadığının araştırılması ve balast için uygun olan balast ocaklarının seçimi büyük önem arz etmektedir. Mevcut demiryolu hatları, yapımı devam eden Ankara-İzmir, proje aşamasında olan Eskişehir-Antalya yüksek hızlı tren hatları gibi projelerin balast ihtiyaçlarının karşılanması için balast olabileceklerinin tespiti büyük öneme sahiptir. Bu çalışma ile Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma alanı Kütahya ili, Merkez ilçesi, Yenikaracaören Köyü sınırları içerisinde bulunmaktadır. Kütahya iline 28 km ve Eskişehir iline ise 63 km uzaklıkta olup ulaşım D-230 ve D-650 karayolu ile sağlanmaktadır. Şekil 1'de Yenikaracaören (Kütahya) bazalt ocağının yer buldur haritası verilmiştir.



Şekil 1. Yenikaracaören (Kütahya) bazalt ocağının yer buldur haritası.

Çalışma sahası içerisinde tabanda Üst Kretase yaşlı Beşçam Formasyonu, bu birimler üzerine tuf, tüfit, aglomera birimlerini içeren Orta/Üst Miyosen yaşlı Tavşanlı Volkanitleri diskordan olarak gelmektedir. Bu birimin üzerine ise bazalt birimlerini de içeren Üst Pliyosen yaşlı Karacaören

volkanitleri bulunmaktadır. Son olarak bu birimleri Kuvaterner yaşlı alüvyonlar diskordan olarak örtmektedir (Apaydın, 2017).

Bazalt ocağında yapılan incelemelerde; ocağın genel yapısının balast üretimine uygun olduğu, genel olarak homojen bir yapı sergilediği gözlenmiştir. Ocaktaki bazalt oluşumları, koyu gri, siyahımsı renkte olup, üst seviyeler yer yer gevşek, alt seviyeler ise sıkı dokulu bir yapıya sahiptir. Rezerv çok kırıklı ve çatlaklı olması nedeniyle balast üretimine elverişlidir.

Balast olarak kullanılacak kayacın, 2020 yılında güncellenmiş olan TCDD Balast Teknik Şartnamesine göre petrografik özellikleri açısından kökeni ve ismi ile ilgili bir koşul aranmamakta olsa da çalışmada kullanılan kayacın köken ve isminin belirlenmesi için petrografik analiz yapılmıştır. Şartnamede istenilen balastın geometrik özellikleri, balast üretiminde kullanılacak olan üretim prosedürleri sayesinde sağlanabilmektedir.

Balast olarak kullanılacak kayacın fiziksel özelliklerinin tespiti için TCDD Balast Teknik Şartnamesine göre; tane yoğunluğu, termal ve bozunma özelliği için  $MgSO_4$  deneyi (dona dayanıklılık), su emme oranı, aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro – Deval), parçalanma direnci tayini (Los Angeles) deneylerinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışma da yapılan deneyler ve deneylerde kullanılan standartlar Tablo 1’de verilmiştir.

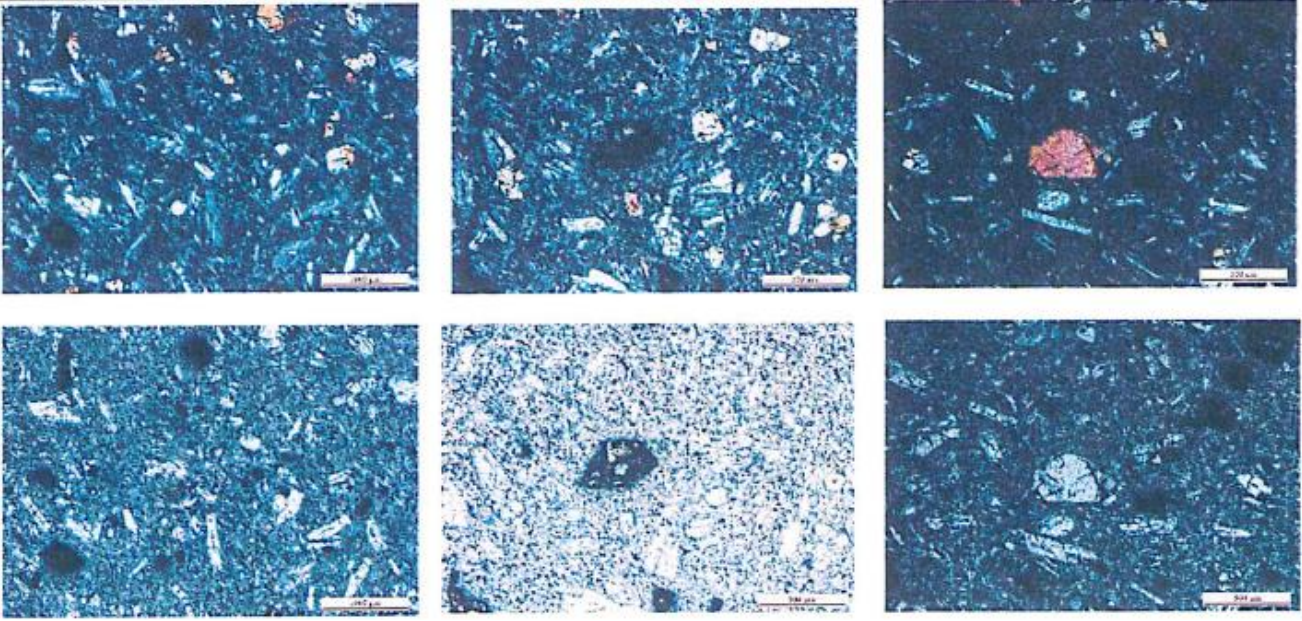
**Tablo 1.** Balastın fiziksel özelliklerinin tespiti için yapılan deneyler ve deneylerde kullanılan standartlar

Deney	Standartlar (Anonim, 2020)
Tane yoğunluğu	TS EN 1097-6
Su emme oranı	TS EN 1097-6
Los Angeles deneyi ile parçalanmaya karşı direncin tayini	TS EN 1097-2
Termal ve bozunma özelliği için $MgSO_4$ deneyi (Dona dayanıklılık)	TS EN 1367-2
Mikro - Deval ile aşınma direncinin tayini	TS EN 1097-1

### 3. Bulgular ve Tartışma

Polarizan mikroskop ile mineralojik ve petrografik özelliklerin incelenmesinde; yarı kristalli porfirik dokuya sahip kayacın, plajiyoklaz (% 25), olivin (% 15), piroksen (% 10), opak ve tali mineraller (% 1’den az), mikrolit ve volkan camından (% 50) oluşan magmatik kökenli yüzey kayacı olduğu tespit edilmiş ve Kayaçların Modal Minerolojik Sınıflamasına göre kayaç bazalt olarak tanımlanmıştır.





**Şekil 2.** Yenikaracaören (Kütahya) bazaltına ait örneklerin ince kesit polarizan mikroskop görüntüleri.

Balastın parçalanmaya karşı direncini belirlemek için etkili yöntemlerden birisi Los Angeles aşınma deneyidir. Bu deney, demiryolu balastının servis ömrü boyunca tren yüklerinden nasıl etkilendiğini belirlemek için yapılan etkili ve pratik bir deneydir (Apaydın & Yılmaz 2019). Çalışmada kullanılan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltın parçalanma direnci (Los Angeles) % 11 olarak tespit edilmiştir.

Balast malzemesi olarak kullanılacak kayaç içerisindeki boşluk ya da gözeneklerin varlığı, balastın fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu gözenek ve boşlukların çok küçük miktarı bile balastın deformasyonu üzerinde çok önemli bir etkiye sahip olabilmektedir (Teymen 2005). Balast agregasında bulunan gözenek ya da boşluklarda biriken suyun donması ve çözünmesi ile balastın direnci azalır ve bu olay da balastta çatlaklara ve ayrışmalara sebebiyet verir (Güleç 1974). Bu nedenle balast olarak kullanılacak kayacın su emme oranı büyük öneme sahiptir. Çalışmada kullanılan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltın su emme oranı % 0,7 olarak tespit edilmiştir.

Balast olarak kullanılacak kayacın tane yoğunluğu, balastın dayanımı ve fiziksel özellikleri hakkında fikir sağlamaktadır. Yüksek tane yoğunluğuna sahip balastlar, genellikle düşük su emme oranına sahip düşük poroziteli olan dayanımlı kayaçlardan elde edilir (Kozak 2016). Balast olarak kullanılacak olan kayacın fiziksel özelliklerinin tespiti için tane yoğunluğu önemli bir yöntemdir. Çalışmada kullanılan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltın tane yoğunluğu  $2,73 \text{ Mg/m}^3$  olarak tespit edilmiştir.

Demiryolunda balast olarak kullanılan malzemeler üzerinde ısı farklarından dolayı fiziksel ayrışmalar meydana gelebilmekte ve don etkisi balastın stabilitesini olumsuz yönde etkilemektedir.

Demiryolu balastı atmosferik şartlara direk maruz kaldığından dolayı donma-çözünme etkisiyle mekaniksel olarak deformasyona uğrarlar (Işlak 2019). Bu yüzden don kaybının balast üzerinde etkisinin tespiti önemli bir parametredir. Çalışmada kullanılan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltın dona dayanıklılık (termal ve bozunma özelliği için  $MgSO_4$  deneyi) değeri % 1 olarak tespit edilmiştir.

Mikro-Deval ile aşınma direncinin tayini balast gibi iri agregaların aşınmaya karşı direncini belirlemek için yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemidir (Arsoy vd., 2019). Bu deney, demiryolu balastının servis ömrü boyunca tren yüklerinden nasıl etkilendiğini belirlemek için yapılan etkili ve pratik bir deneydir. Çalışmada kullanılan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltın aşınmaya karşı direnci (Mikro - Deval) % 6 olarak tespit edilmiştir.

Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanılabilirliğinin tespiti için TCDD Balast Teknik Şartnamesine göre istenilen fiziksel deneylerden elde edilen sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2.** TCDD balast teknik şartnamesine göre balasttan istenilen fiziksel özelliklerinin sınır değerleri ve Yenikaracaören (Kütahya) bazaltının sonuçları (Anonim, 2020)

Deney	Yenikaracaören (Kütahya) bazaltı deney sonuçları	Konvansiyonel demiryolu hattı sınır değerleri	Hızlı tren - yüksek hızlı tren hatları sınır değerleri
Parçalanma direnci tayini (Los Angeles)	% 11	$\leq$ %20	$\leq$ %14
Su emme oranı	%0,7	$\leq$ %2	$\leq$ %1,5
Tane yoğunluğu	2,73 Mg/m <sup>3</sup>	$\geq$ 2,50 Mg/m <sup>3</sup>	$\geq$ 2,60 Mg/m <sup>3</sup>
Termal ve bozunma özelliği için $MgSO_4$ deneyi (Dona dayanıklılık)	% 1	$\leq$ %5	$\leq$ %3
Aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro - Deval)	% 6	$\leq$ %14	$\leq$ %12

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Çalışma kapsamında; TCDD Balast Teknik Şartnamesinde istenilen sınır değerlere uygunluğu açısından Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının; yüksek hızlı tren, hızlı tren ve konvansiyonel demiryolu hatlarında demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmaların sonucunda;

- Bazalt numunesinin Los Angeles deneyi ile parçalanmaya karşı direnci %11 olarak tespit edilmiştir. Bu sonuca göre; bazalt numunesinin yüksek hızlı tren - hızlı tren ( $\leq$  %14) ve konvansiyonel ( $\leq$  %20) demiryolu hatları için uygun olduğu,

- Su emme oranı %0,7 olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre; bazalt numunesinin yüksek hızlı tren - hızlı tren ( $\leq$  %1,5) ve konvansiyonel ( $\leq$  %2) demiryolu hatları için uygun olduğu,

▪ Tane yoğunluğu  $2,73 \text{ Mg/m}^3$  olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre; bazalt numunesinin yüksek hızlı tren - hızlı tren ( $\geq 2,60 \text{ Mg/m}^3$ ) ve konvansiyonel ( $\geq 2,50 \text{ Mg/m}^3$ ) demiryolu hatları için uygun olduğu,

▪ Dona dayanıklılık (termal ve bozunma özelliği için  $\text{MgSO}_4$  deneyi) değeri %1 olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre; bazalt numunesinin yüksek hızlı tren - hızlı tren ( $\leq \%3$ ) ve konvansiyonel ( $\leq \%5$ ) demiryolu hatları için uygun olduğu,

▪ Aşınmaya karşı direnci (Mikro - Deval) %6 olarak bulunmuştur. Bu sonuca göre; bazalt numunesinin yüksek hızlı tren - hızlı tren ( $\leq \%12$ ) ve konvansiyonel ( $\leq \%14$ ) demiryolu hatları için uygun olduğu görülmüştür.

Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının; yüksek hızlı tren, hızlı tren ve konvansiyonel demiryolu hatlarında demiryolu balastı olarak kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır. Balast olarak kullanılacak kayaç türlerinin belirlenmesi için farklı kayaçlar üzerinde ve aynı kayaç türü olsa da farklı ocaklardan alınan kayaçlar ile yeni çalışmaların yapılmasının demiryolu balastı olarak kullanılacak kayaçların çeşitlenmesinde faydalı olacağı düşünülmektedir. Aynı zamanda bu çalışma, yapımı devam eden Ankara-İzmir, proje aşamasında olan Eskişehir-Antalya yüksek hızlı tren hatlarına yakın konumda olan Yenikaracaören (Kütahya) bazaltlarının söz konusu bu hatlar için balast ihtiyacının karşılanmasında kullanılabilirliği hakkında fikir sağlayacaktır.

## **Teşekkür**

Çalışmama katkısından dolayı TCDD 7. Bölge Müdürlüğü ve Gökkuşuğu Madencilik Müteahhitlik İnşaat Turizm Taşımacılık Hayvancılık San. ve Tic. Ltd. Şti. yetkililerine, ayrıca makalenin olgunlaşmasına katkı koyan hakemler ile editörlere teşekkürlerimi sunarım.

## **Yazarların Katkısı**

Mehmet KOZAK: Literatür araştırması, arazi çalışması, deney için örneklerin alınması, deneylerin planlanması ve sonuçların yorumlanması ve makale yazımı aşamalarında katkı sağlamıştır.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## Kaynaklar

- Anonim, (2016). Yol mühendisleri kursu yol üstyapı ders notları. *TCDD Eğitim ve Öğretim Dairesi Başkanlığı Yayınları*, Ankara.
- Anonim, (2020). TCDD balast teknik şartnamesi. *TCDD Araştırma ve Geliştirme Dairesi Başkanlığı*, Ankara.
- Apaydın, Ö.F., ve Yılmaz, M. (2019). Bazaltik kayaçların balast kirlenmesi yönünden karşılaştırılması. *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(1), 296-311. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.517130>
- Apaydın, Ö.F. (2017). *Bazaltik kayaçların balast kirlenmesi yönünden karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arsoy, Z., Çiftçi, H., Ersoy, B., Uygunoğlu T., ve Arslan, B. (2019). Afyonkarahisar bölgesi mermer parça atıklarının beton agregası olarak değerlendirilebilirliğinin araştırılması. *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(3), 503-516. <https://doi.org/10.31202/ecjse.554339>
- Bassey, D., Ngene, B., Akinwumi, I., Akpan, V., ve Bamigboye, G. (2020). Ballast contamination mechanisms: a critical review of characterisation and performance indicators. *Infrastructures*, 5(11), 94. <https://doi.org/10.3390/infrastructures5110094>
- Bayrak, M. Ç. (2018). *Altyapı özelliklerinin demiryolu üstyapısının performansına etkisi*. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Güleç, K. (1974). Kayaçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin su muhtevası ile değişimi, *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 13(3), 13-16.
- Işlak, H. (2019). *Evciler (Gölbaşı/Ankara) bazaltının petrografik ve petrokimyasal özelliklerinin demiryolu balast ve balastaltı malzemesi olarak kullanılabilirliği üzerine etkisi*. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Kahraman, E. ve Yapıcı, N. (2022). Kurtupınar (Ceyhan) bazaltlarının demiryolu balastı olarak kullanımının değerlendirilmesi. *Demiryolu Mühendisliği*, 16, 14–22. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.1082366>
- Kıpçak, F. (2023). Van Gedikbulak bölgesinde bulunan bazalt kayaçlarının karayolu ve demiryolu yapımında balast malzemesi olarak kullanımı. *11. Uluslararası Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Kongresi* (pp.1283-1292), İstanbul.
- Koralay, T., Çobanoğlu, İ. ve Demir, M. (2014). Ofiyolitler içerisindeki gabro dayklarının balast malzemesi olarak kullanılabilirliği inceler (Bozkurt-Denizli) örneği. *KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 32-48. <https://doi.org/10.17780/ksujes.61480>
- Kozak, M. (2010). Beton traversin gelişimi ve üretim aşamasının araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6(2), 73-81.
- Kozak, M. (2011). Demiryolunda rayların birleşim noktaları ve özelliklerinin araştırılması. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7(2), 40-49.
- Kozak, M. (2012). Hemzemin geçitlerdeki kaplama çeşitleri ve güvenliğe etkisinin araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 2(1), 1-11.
- Kozak, M. (2016). *İscehisar (Afyonkarahisar) mermerlerinin jeolojik ve jeomekanik özelliklerinin araştırılması*. Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Afyonkarahisar.
- Kozak, M. (2021). Demiryolu balastının ve özelliklerinin araştırılması. *Demiryolu Mühendisliği*, 13, 86-96. <https://doi.org/10.47072/demiryolu.831684>
- Kozak, M. (2023). Bazalt ve kalkerin demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği. *Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi*, 7(2), 171-176.
- Nålsund, R. (2014). *Railway ballast characteristics, selection criteria and performance*. Doctoral Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Engineering Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering.
- Okonta, F. N. ve Magagula, S. G. (2011). Railway Foundation Properties of Some South African Quarry Stones. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering EJGE*, 179-197. <https://hdl.handle.net/10210/15926>

- Oğul, K., Topal İ. ve Poşluk, E. (2012). Ankara - İstanbul yüksek hızlı tren demiryolunda balast hammaddesi olarak granit ve bazaltın birlikte kullanılabilirliğinin araştırılması ve aşınma dayanımlarına etkisi. *MT Bilimsel*, 1, 81-89.
- Raymond, G. P. (1985). Research on railroad ballast specification and evaluation. *Transportation Research Record*, 1006, 1-8.
- Sabancı, A. (2018). *Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Solhan (Bingöl) magmatiklerinin demiryolu balastı olarak kullanılabilirliği*. Yüksek Lisans Tezi, T.C. İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Teymen, A. (2005). *Bazı kayaların petrografik, fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2011). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 1: aşınmaya karşı direncin tayini (Mikro- Deval) (TSE Standart No. TS EN 1097-1). Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2011). Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler-bölüm 2: magnezyum sülfat deneyi (TSE Standart No. TS EN 1367-2). Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2013). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-bölüm 6: tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini (TSE Standart No. TS EN 1097-6). Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- Türk Standartları Enstitüsü. (2020). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 2: parçalanma direncinin tayini için metotlar (TSE Standart No. TS EN 1097-2). Ankara, Türk Standartları Enstitüsü.
- Yılmaz, A. (2015). Demiryolu üstyapısında balast kirliliği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1), 11-17.

## Microplastic pollution profile and potential ecological risk of in Aksu Stream (Giresun, Türkiye)

Arzu AYDIN UNCUMUSAOĞLU<sup>1\*</sup> 

### Abstract

The microplastic (MP) profile in water and sediment samples collected from five stations along Aksu Stream, which serves as a drinking water source for Giresun province, was investigated. The presence and characterization of MPs in the samples were determined using both microscopic and ATR-FTIR spectroscopy techniques. The study revealed 910 items kg<sup>-1</sup> of MPs in sediment samples, while 0.65 items L<sup>-1</sup> were found in water samples. The dominant color of MPs observed in the study was transparent. The most prevalent size range of MPs was between 0-50 µm, and the dominant shape in the polymer analysis of MPs collected from Aksu Stream was fiber. According to FT-IR analysis results, polyethylene (PE) and polypropylene (PP) were the most abundant MP polymer types detected. When assessing the potential ecological risk of MPs, it was determined that the stream falls into damage and risk categories III (High) and IV (Hazard). This research adds to the expanding body of evidence indicating that microplastic contamination is pervasive in freshwater environments. It is urgent to reduce MP waste generation in order to protect aquatic ecosystems and human health.

**Keywords:** Microplastic, Fresh water, Sediment, Potential ecological risk.

## Aksu Çayı'nın (Giresun, Türkiye) Mikroplastik Kirlilik Profili ve Potansiyel Ekolojik Riski

### Öz

Giresun ili içme suyu teminini sağlayan, Aksu Deresi boyunca beş istasyondan toplanan, su ve sediment örneklerindeki mikroplastik (MP) profili araştırılmıştır. Örneklerde tespit edilen MP'lerin varlığı ve karakterizasyonu hem mikroskopik hem de ATR-FT-IR spektroskopisi teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Araştırmada, sediment örneklerinde 910 parça kg<sup>-1</sup> MP tespit edilirken, su örneklerinde 0.65 parça L<sup>-1</sup> MP bulunmuştur. Çalışmada gözlenen MP'lerin baskın rengi transparandır. MP'lerin en baskın boyut aralığı 0-50 µm arasında bulunurken ve Aksu Deresi'nden toplanan MP'lerin polimer şekli analizinde baskın grup olarak fiber bulunmuştur. FT-IR analiz sonuçlarına göre, PE ve PP tespit edilen en bol MP polimer türleri olmuştur. MP'lerin potansiyel ekolojik riski değerlendirildiğinde, derenin III (Yüksek) ve IV (Tehlike) hasar ve risk kategorilerine girdiği belirlenmiştir. Bu araştırma, mikroplastik kirliliğinin tatlı su ortamlarında yaygın olduğunu gösteren kanıtların artmasına katkıda bulunmaktadır. Sucul ekosistemlerin ve insan sağlığının korunması için MP atık üretiminin azaltılması acilen gerekmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Mikroplastik, Tatlı su, Sediment, Potansiyel ekolojik risk.

<sup>1\*</sup>Giresun University, Environmental Engineering Department, Giresun, Türkiye, [arzu.a.uncumusaoğlu@gmail.com](mailto:arzu.a.uncumusaoğlu@gmail.com)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 25.05.2024

Kabul/Accepted: 05.06.2024

Yayın/Published: 18.06.2024



## 1. Introduction

Plastic, an indispensable element of modern life, is produced in quantities exceeding 335 million tons annually worldwide (Tiseo, 2021). Recently, the COVID-19 pandemic, which has had a global impact, has also unfortunately accelerated plastic usage due to the demand for hygienic products such as gloves and face masks. Despite efforts to reduce plastic consumption, their versatility, lightness, durability, and low production costs have led to an increase in their use in our daily lives (Kulkarni and Anantharama, 2020).

The buildup of plastic waste in both aquatic and terrestrial environments endangers ecosystems and poses risks to both wildlife and human health. Plastics are subject to numerous degradation processes over time, such as hydrolysis, photodegradation, thermal oxidation, mechanical abrasion, and biodegradation (Andrady, 2015). These processes result in the formation of smaller plastics known as microplastics (MPs) and even nanoplastics (NPs). MPs, defined as plastic particles smaller than 5 mm, encompass all types of plastics present in the environment regardless of their chemical composition (Masura et al., 2015).

MPs, due to their potential environmental risks, have been detected in numerous settings and can originate from human activities, terrestrial operations, atmospheric deposition, and activities within aquatic ecosystems. Sources of MPs include the textile industry, land and air transportation, tourism, shipping, aquaculture, and commercial fishing operations (Daana et al., 2018; Huang et al., 2023). MPs, which can be regular or irregular in shape, are insoluble in water and can arise from primary or secondary sources (Frias and Nash, 2019). They can disperse into the environment directly through wind and rainfall or indirectly via wastewater treatment plants (WWTPs), sewage sludge, irrigation, agricultural fields, landfills, and urban runoff (Xu and Ren, 2021; Xu et al., 2023). In addition to marine habitats, MPs have been identified in freshwater environments (rivers and lakes), agriculture, sewage sludge, wastewater systems, and the atmosphere (Gatidou et al., 2019; Chen et al., 2020; Wright et al., 2020; Mutlu et al., 2023; İpek et al., 2024).

The uncontrolled and unconscious discharge of wastewater into aquatic environments poses a substantial threat to these ecosystems (Dris et al., 2016; Liu et al., 2019; Vaid et al., 2021). Various materials accumulate in water bodies, leading to sediment formation. This sediment, characterized by different properties depending on the aquatic environment, results from geographical and natural erosion, the settling of organic and inorganic materials, and the accumulation of dead algae at the bottom (Aydın and Sunlu, 2004; Çil et al., 2023). Due to the water cycle, pollutants gradually settle into the sediment over time.

The most commonly used plastics include polypropylene (PP), polystyrene (PS), polyethylene terephthalate (PET), polyester, polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyamide (nylon), and

polyvinyl chloride (PVC). Over the past five decades, plastic usage has surged due to industrial growth, resulting in an increased amount of plastic waste in our environment. Despite the recyclability of most plastic waste, it is estimated that 5-12 million tons of plastic waste enter aquatic environments annually (Baalkhuyur et al., 2020). As plastic production continues to rise, so do concerns about plastic accumulation in coastal and marine ecosystems. More than 80% of plastic waste reaching the oceans is terrestrial in origin, with a significant portion comprising MPs from rivers (Alprol et al., 2021; Tokatli et al., 2024).

Plastic debris in natural environments can restrict the movement of animals such as waterfowl, fish, and sea turtles, and can even cause drowning. Ingested plastics can lead to digestive system disorders in animals, resulting in weight loss and developmental issues. The accumulation of plastic marine debris on the seabed presents another level of danger, hindering gas exchange and threatening the survival of benthic organisms (Akkan et al., 2023; Bayhan and Aydin Uncumusaoglu, 2024).

This study aims to elucidate the profile of MPs found in water and sediment samples from the Aksu Stream within Giresun province and to evaluate their potential ecological risks. The findings are expected to enhance our understanding of MP pollution in the region and aid in the development of necessary mitigation measures.

## **2. Materials and Methods**

### **2.1. Study area**

The Aksu Stream, situated in the Eastern Black Sea Region, discharges into the Black Sea within the boundaries of Giresun province. The watershed area draining into the Aksu Stream covers 731 km<sup>2</sup>, with a perimeter of 129.4 km, a main channel length of 58.8 km, and a gradient of 4.5%. Additionally, the median elevation of the basin is 2102.3 meters, the stream gradient is 4, the drainage density is 0.48 km<sup>-1</sup>, and the channel frequency is 0.16 channels/km<sup>2</sup>. The total surface water potential of Giresun province is 4373 hm<sup>3</sup>.year<sup>-1</sup>, of which 562 hm<sup>3</sup>.year<sup>-1</sup> is provided by the Aksu Stream. The alluvium derived from the Aksu Stream also forms the groundwater aquifers of Giresun. The Etbaşoğlu and Duroğlu wells, which supply drinking water to the central district of Giresun, are supported by the Aksu Stream.

### **2.2. Sampling of Water and Sediment**

The sampling event was performed on May 27, 2021 in the Aksu Stream. Samples in S1-S5 were collected at the river bank due to ease of shoreline access (Figure 1-2).





**Figure 1.** Map of the study area and stations



**Figure 2.** Photographs from sampling stations

Samples of sediment and water were taken from five designated stations along the Aksu Stream to fully represent sampling from three points, consisting of two sides and a central point of the stream. Sediment samples were collected by scanning 1m<sup>2</sup> areas with a metal shovel to a depth of 5 cm from the surface (Zhou et al., 2021). Wet sediment samples were transported to the laboratory in glass jars. Sampling was conducted on days with no precipitation for at least three days. Water samples were also taken from each station at three points, using a 5-liter metal bucket, and were filtered through a plankton net with a mesh size of 35  $\mu$ m, totaling 100 liters of stream water, and stored in glass jars for transportation to the laboratory (Masura et al., 2015).

### 2.3. Microplastic Analysis

MPs particles were isolated from samples using wet peroxidation (WPO) and density separation techniques (Masura et al., 2015). Water samples brought to the laboratory underwent wet peroxidation (WPO) using iron sulfate ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) solution as a catalyst and 30% hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) solution. The oxidation process was conducted on a hotplate at 60-70°C with 80 rpm for 6 hours (Masura et al., 2015). The protocols for sample preparation and microplastic identification were modified from a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) protocol (Masura et al., 2015). After digestion, particles were extracted using density separation. To separate MPs from other components, a sufficient amount of NaCl ( $1.2 \text{ g cm}^{-3}$ ) was added to the solution and allowed to settle in an Imhoff funnel overnight. Subsequently, the MPs were filtered using glass filter paper (pore size  $1.2 \mu\text{m}$ , Whatman, GE Healthcare, UK) and a vacuum pump. The glass filter papers were dried at room temperature in the laboratory (Masura et al., 2015).

Each wet sediment sample brought to the laboratory was initially dried in an oven at 70°C until a constant weight was reached, then sieved through a 5 mm porous steel sieve to remove stones and other residues. Dried sediment samples (50 g) were weighed and mixed with 100 mL of saturated sodium chloride ( $140 \text{ g L}^{-1} \text{ NaCl}$ ) solution and stirred for 15 minutes. Each sample was allowed to settle for 24 hours. The upper phase containing MPs was transferred to a beaker with at least three repetitions. Iron sulfate ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) solution and 30% hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) solution were used as the wet peroxidation (WPO) catalyst. The beakers were then subjected to oxidation on a hotplate at 60-70°C with 80 rpm for 6 hours. To separate MPs from other components, a sufficient amount of NaCl ( $1.2 \text{ g/cm}^3$ ) was added to the solution and allowed to settle in an Imhoff funnel overnight. The MPs in the obtained mixture were filtered using glass filter paper (pore size  $1.2 \mu\text{m}$ , Whatman, GE Healthcare, UK) and a vacuum pump. The glass filter papers were dried at room temperature in the laboratory.

MPs were examined for size and shape using a stereo microscope (Nikon, Tokyo, Japan) (Hermsen et al., 2017). The largest dimensions of each particle were measured with a high-resolution digital camera attached to the microscope. Plastic-like materials were tested using a hot needle (Bellas et al., 2016). MPs were then sorted into six colors (red, green, blue, black, white, transparent) and visually identified as fragments, fibers, films, foam, or pellets. All particles were preserved for future polymer identification using Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy.

To minimize airborne contamination from microplastics (MPs), samples were promptly dissected and transferred, while the workspace was sanitized with alcohol beforehand. Nitrile gloves, cotton lab coats, and glassware were consistently utilized throughout the study. Unused equipment was shielded with aluminum foil to prevent contamination. Additionally, blind sample tests were

conducted by placing three filter papers in distilled water in the laboratory for 24 hours, followed by observation under a stereomicroscope to detect any potential MPs contamination. No MPs were found on these filter papers (Zhao et al., 2023; Bayhan and Aydin Uncumusaoglu, 2024).

#### 2.4. FT-IR Spectroscopy Analysis

In this study, Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectra were acquired in attenuated total reflection (ATR) mode using a Particle Attenuated Total Reflection-Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectrometer (VERTEX 70 Series, Bruker, Germany). The spectral range was set from 4000 to 400  $\text{cm}^{-1}$ , with a resolution of 2.0  $\text{cm}^{-1}$  and 128 scans for polymer type identification. Spectra data were processed by linear baseline correction and normalization to the highest absorbance value using the "Spektragraf© version 1.2.14" software. Absorbance spectra were then compared with recommended polymer types in the device library and analyzed based on their similarity (Gedik and Gözler, 2022; Bayhan and Aydin Uncumusaoglu, 2024).

#### 2.5. Potential Health Impact of MPs

The polymer risk index (H) was utilized to assess the ecological risk of microplastics (MPs) in all samples. The potential ecological risk of MPs was evaluated using the polymer hazard index (PHI) method, as applied in previous studies (Lithner et al. 2011; Xu et al., 2018; Ranjani et al., 2021). The potential risks of plastic polymers to the environment and human health can be assessed based on the chemical toxicity of the monomers (Lithner et al. 2011). Table 3 provides the expression of hazard status, scores, and risk categories when evaluating polymer types. The polymer hazard index (PHI) for MPs can be calculated using the following formula:

$$\text{PHI} = \sum P_n \times S_n$$

Here,  $P_n$  represents the percentage of each type of MPs polymer detected in each sample, and  $S_n$  is the hazard score of the polymers in MPs provided in the study by Lithner et al. (2011). Additionally, the hazard categories and values were evaluated by following the study carried out by Ranjani et al. (2021).

#### 2.6. Data analysis

One-way analysis of variance (ANOVA) was used to compare whether there was a significant difference between the stations according to the MPs abundance of the stations.

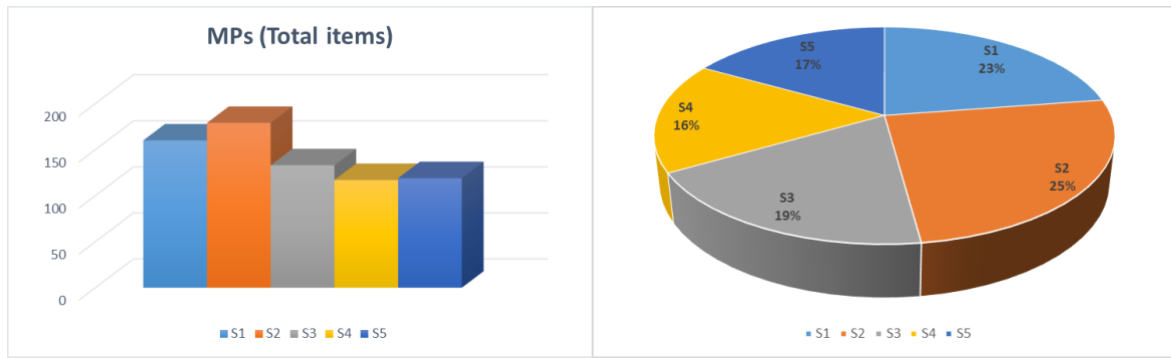
Multivariate Hierarchical Cluster Analysis (HCA) technique was used to classify the clusters that may form between the mean MPs abundances of the stations using Ward's method as a similarity measure. The significance level was set at  $P < 0.05$ . Statistical analyses were performed using SPSS Statistics for Windows, version 25.0 (IBM, USA). Results were expressed as graphs or tables.

### 3. Findings and Discussion

#### 3.1. Descriptive Statistics on the MPs

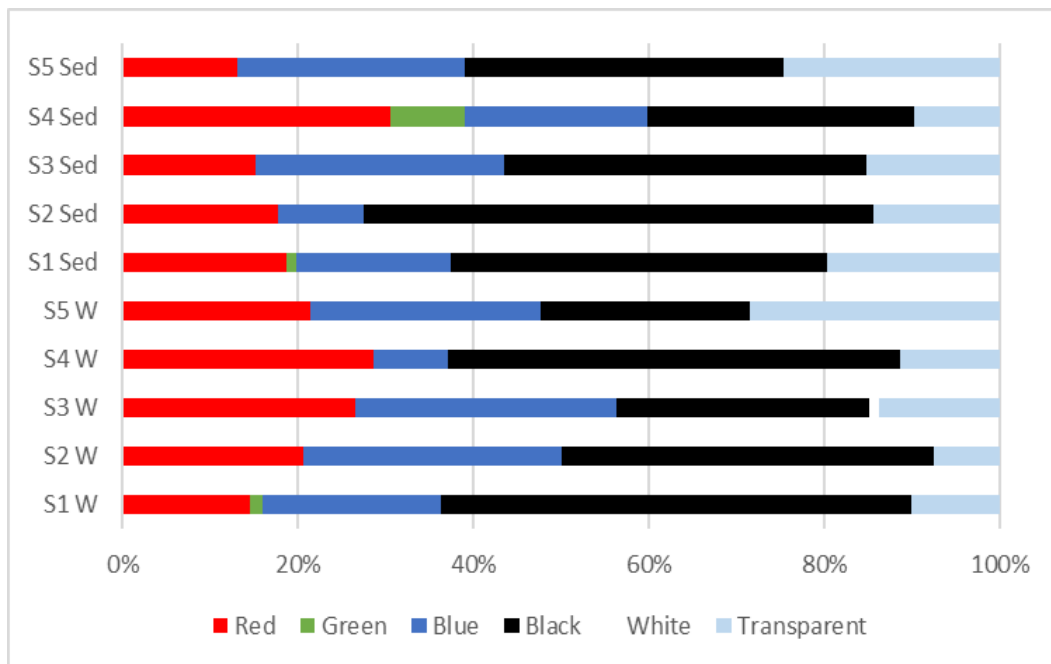
In this study, microplastics (MPs) ranging from 1 to 5 mm in size were examined. These MPs were analyzed based on their size, color, and type in both water and sediment samples collected from each station. The analysis revealed a total of 910 pieces of MPs per kilogram in sediment samples across all stations, while 0.65 pieces per liter of MPs were detected in water samples (Figure 3). There was no significant difference in the size of MPs between the stations (one-way ANOVA;  $P > 0.05$ ). However, a significant difference was observed between the stations for black and transparent colors in water (one-way ANOVA;  $P < 0.05$ ), while no significant difference was found for other colors. Regarding the shape of MPs structures, a significant difference was observed for fiber and foam (one-way ANOVA;  $P < 0.05$ ), while no significant difference was observed for other types. There was a significant difference between the stations for green and black colors in the sediment (one-way ANOVA;  $P < 0.05$ ), while no significant difference was found for other colors. There was no significant difference in the shape of MPs structures (one-way ANOVA;  $P > 0.05$ ). No statistically significant differences were observed for the types of polymers (one-way ANOVA;  $P > 0.05$ ).

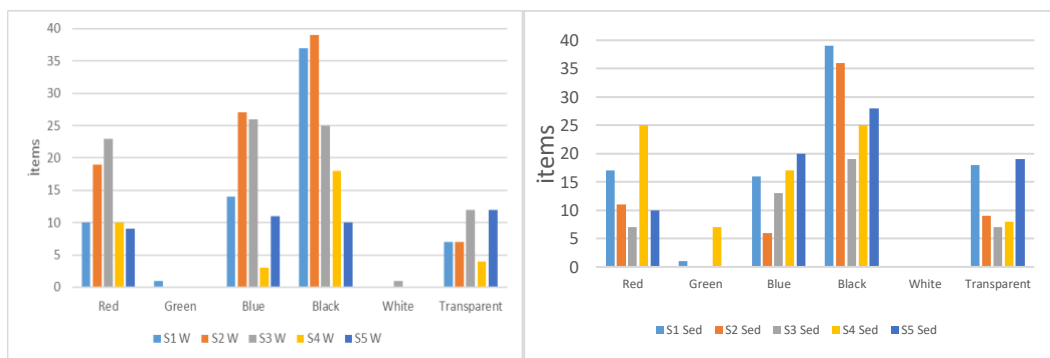
When the density of MPs according to all stations was analyzed, it was concluded that the highest abundance of MPs was found in S2, followed by stations 1, 3, 4 and 5, respectively. In water samples, the highest abundance of MPs was found in S2, followed by stations 3, 1, 5 and 4, respectively (Figure 3). The highest abundance of MPs in the sediment was found in S1, followed by stations 2, 4, 5 and 3, respectively. In water samples, the highest abundance of MPs was found in S2, followed by stations 3, 1, 5 and 4, respectively. The Aksu stream was exposed to MPs at lower concentrations than the Ergene river, which may be due to the fact that the Ergene river is exposed to the plastic wastes of the human population and industry (Akdogan et al., 2023).



**Figure 3.** The abundance ratios (%) and items MPs values by the stations (S)

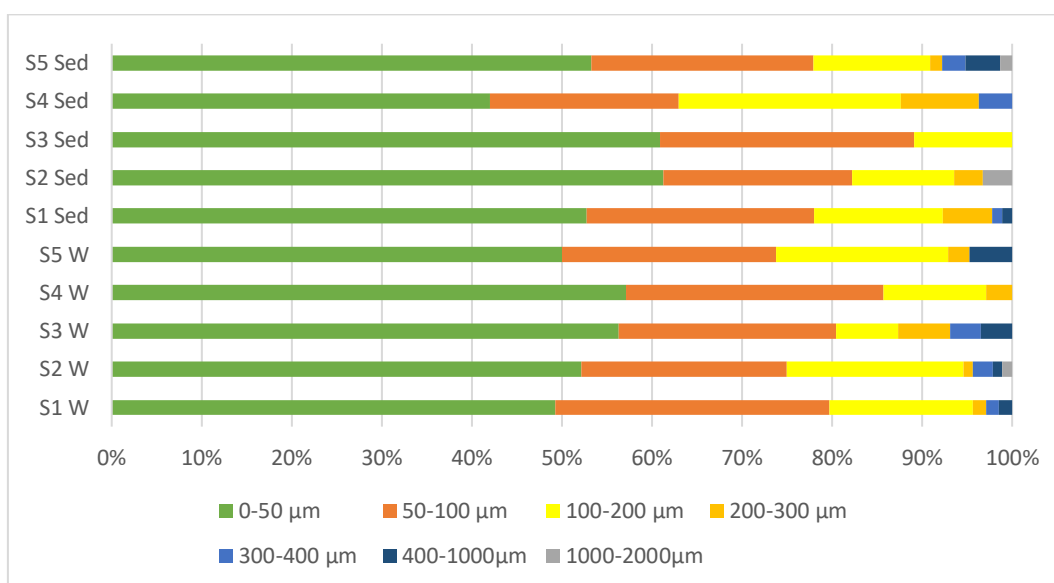
The most dominant color in the MPs of all samples was black, accounting for 41% of the total. This was followed by blue with 22%, red with 21%, transparent with 15% and green with 1% (Figure 4). The most dominant color in Aksu Creek sediment MPs samples was blue with 75%. This was followed by green with 22% and red with 3%. White and transparent colors were not detected in the sediment. Black was again the most dominant color in water as in sediment. This color was followed by blue with 25%, red with 22% and transparent with 13%. White MP was detected in water with one sample (Figure 4). The dominant color detected in the water and sediment in this study, Black, is similar to Ergene River and Batlama Stream (Akdogan et al., 2023; Çebi and Aydın Uncumusaoğlu, 2024).





**Figure 4.** Distribution of MPs by color (%)

The size in the range of 0-50  $\mu\text{m}$  was measured in 53% of all MPs samples. Then, MPs particles in the range of 50-100  $\mu\text{m}$ , 100-200  $\mu\text{m}$ , 200-300  $\mu\text{m}$  and 300-400  $\mu\text{m}$  were measured and identified at the rates of 18%, 10%, 5% and 1%, respectively. It was observed that 66.6% of the most common MPs in the sediment were in the 0-50  $\mu\text{m}$  range, followed by the 50-100  $\mu\text{m}$  range with 19.13%, 100-200  $\mu\text{m}$  range with 9.8%, 200-300  $\mu\text{m}$  range with 3.6% and 300-400  $\mu\text{m}$  range with 0.83%. When the sizes of MPs in water were analyzed, it was found that 75.5% of the most common MPs size was in the 0-50  $\mu\text{m}$  range, followed by 50-100  $\mu\text{m}$  range with 12%, 100-200  $\mu\text{m}$  range with 10%, 200-300  $\mu\text{m}$  and 300-400  $\mu\text{m}$  range with 1.5% (Figure 4). The predominant size range (50-100  $\mu\text{m}$ ) observed in this study aligns with findings from research conducted on the Maozhou River, Batlama Stream, and an urban river network in eastern China. In contrast, studies on the Hanjiang River and Yangtze River reported larger predominant sizes (Wang et al., 2020; Çebi and Aydın Uncumusaoğlu, 2024; Fan et al., 2022).



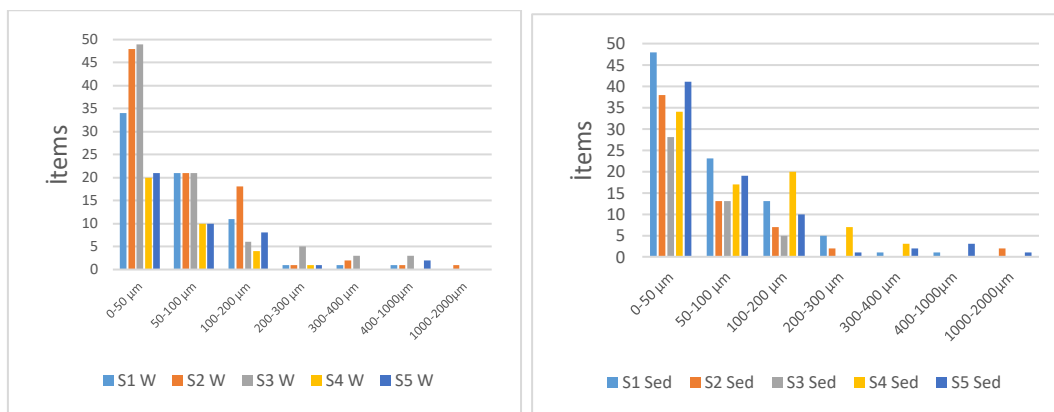
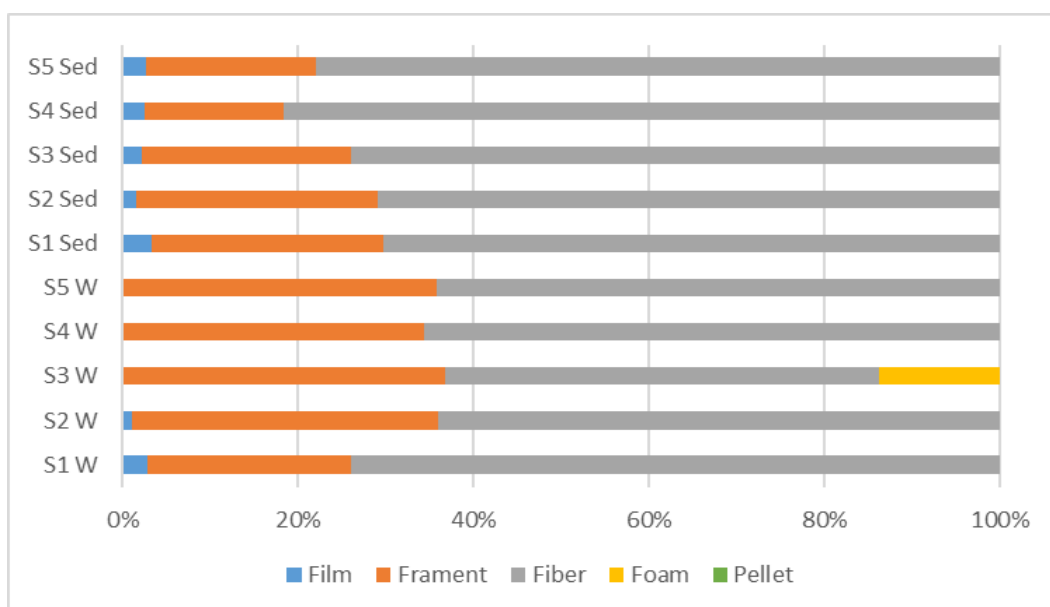
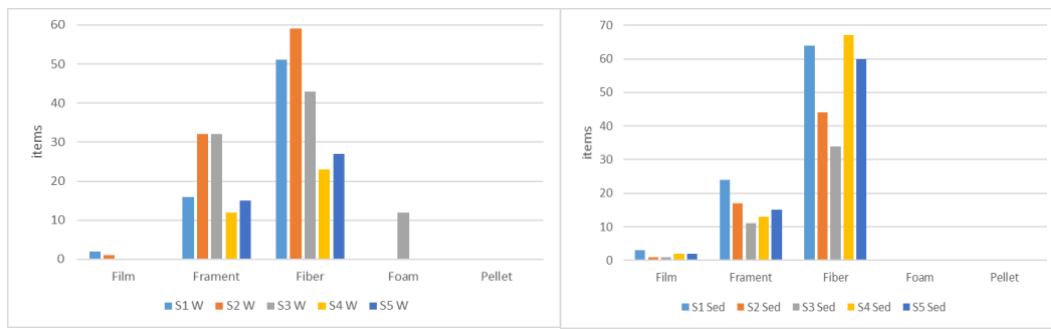


Figure 5. Sizes of MPs

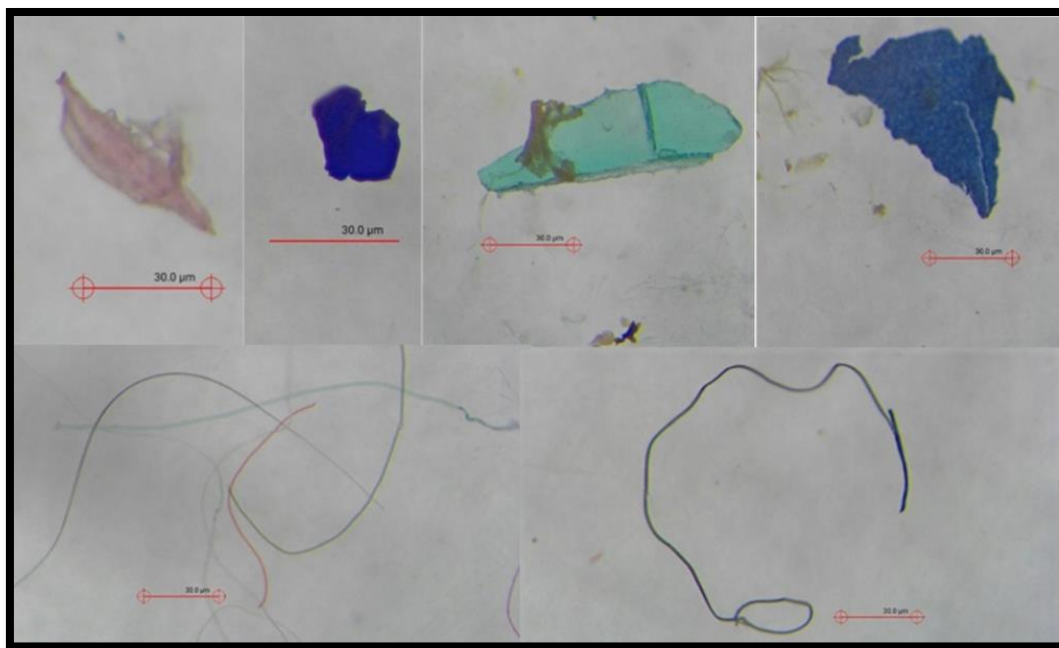
Polymer shapes of MPs samples collected from Aksu Stream were fibers with 69%, followed by particles with 27%, both film and foam with 2% each, and pellets with 22%. In sediment samples, the most dominant MPs shape type was fibers with 75%, followed by plastic fragments with 22%. In water, 62% of the MPs were fibers, 33% were plastic fragments and 4% were foam (Figure 6). Visual representations of MPs shape types are given in Figure 7. Research on microplastic (MP) loads discharged from rivers such as the Hanjiang, Yangtze, Batlama and Manas Rivers, as well as Mersin Bay in the Mediterranean Sea, has shown that fibers are the most common form of MPs, consistent with the findings of this study (Wang et al., 2017; 2020; Çebi and Aydın Uncumusaoğlu, 2024; Özgüler, 2022). However, studies on MPs from the Küçükçekmece River basin, various lakes and river gorges along the Turkish coast of the Black Sea and Jajroud River indicated a dominant particle shape, differing from the results of this study (Çullu, 2021; Öztekin, 2021; Shekoohiyan and Akbarzadeh, 2022).







**Figure 6.** MPs shape



**Figure 7.** Shape types of MPs (1-5; fibres, 6-8; fragments, 9-12; film, scale bar= 0.3 mm).

FT-IR analysis was made for polymer types of MPs samples. The highest percentage was found to be Polypropylene (PP) 34%, followed by Polyethylene (PE) 26%, Polyethylene Terephthalate (PET) 24%, Polystyrene (PS) 7%, Polyamide (PA) 5% and Polyvinyl Acetate (PVAc) 4%. MPs types in water samples were 36% PP, 27% PE, 23% PET, 5% PS, 6% PA and PVAc with 3% (Figure 8). In terms of MPs in sediment samples, PE was the most abundant with 32% PP, followed by 26% PE, 23% PET, 11% PS, both PA and PVAc with 4% each. FT-IR spectra of Aksu stream microplastics in Figure 9. These conclusions are consistent with previous studies (Wang et al., 2017; 2020; Zhou et al., 2020; Enamul Kabir et al., 2022).



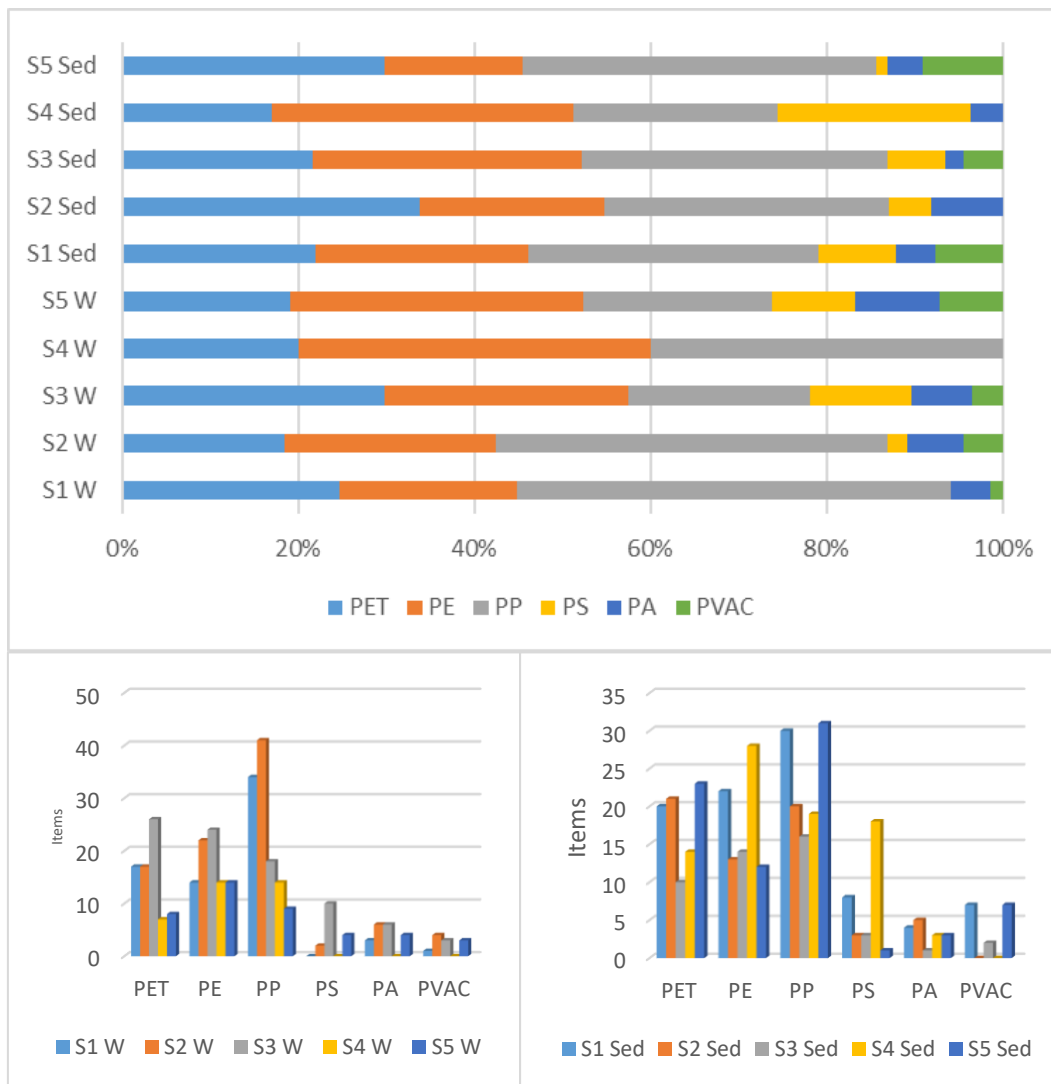


Figure 8. MPs polymer type

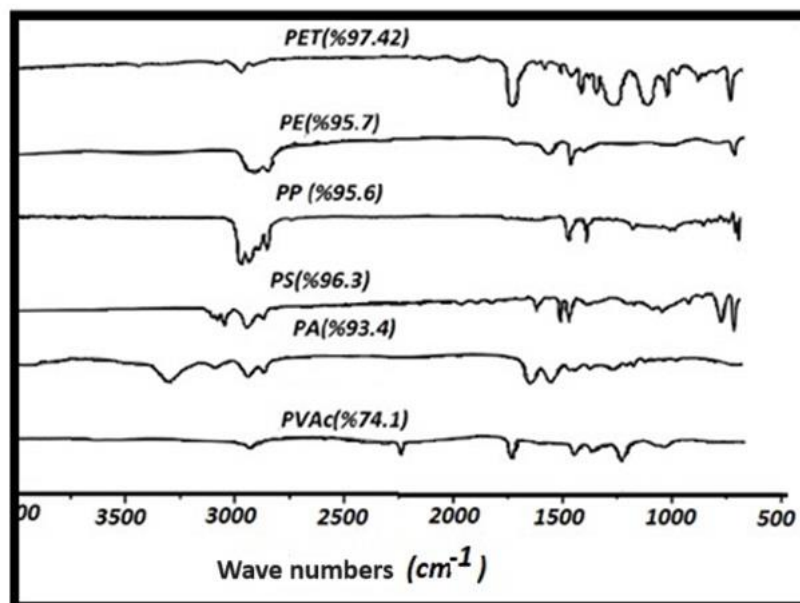


Figure 9. FT-IR spectra of Aksu stream microplastics. Values in parentheses indicate the average match rate with the standard spectrum for each polymer: PP (polypropylene), PS (polystyrene), PE (polyethylene), PVAc (polyvinyl acetate), and PA (polyamide), PET (polyethylene terephthalate).

### 3.2. Hierarchical Clustering Analysis

The HCA test, which clearly shows the similarity or difference of the stations according to their microplastic densities, was applied to the data of this study. Cluster A, which is the first of the two groups formed in the HCA test in the data obtained as a result of microplastic research in Aksu Stream sediments, consists of stations 1, 5, 4 and it was concluded that stations 4 and 5 are more similar to each other. It can be said that this is due to the fact that these stations are closer to the sea and the presence of settlements. Cluster B consists of stations 2 and 3. In general, Cluster B stations have higher similarity rates and it is thought that this similarity is due to the settlement pattern in the region. The related analysis graph is given in Figure 10. With the data obtained as a result of microplastic research in Aksu Stream water samples, Cluster A, the first of the two groups formed in the HCA test, is more similar than Cluster B. Given these results, Aksu Stream can be considered as upper basin (Stations 1–3) and lower basin (Stations 4–5).

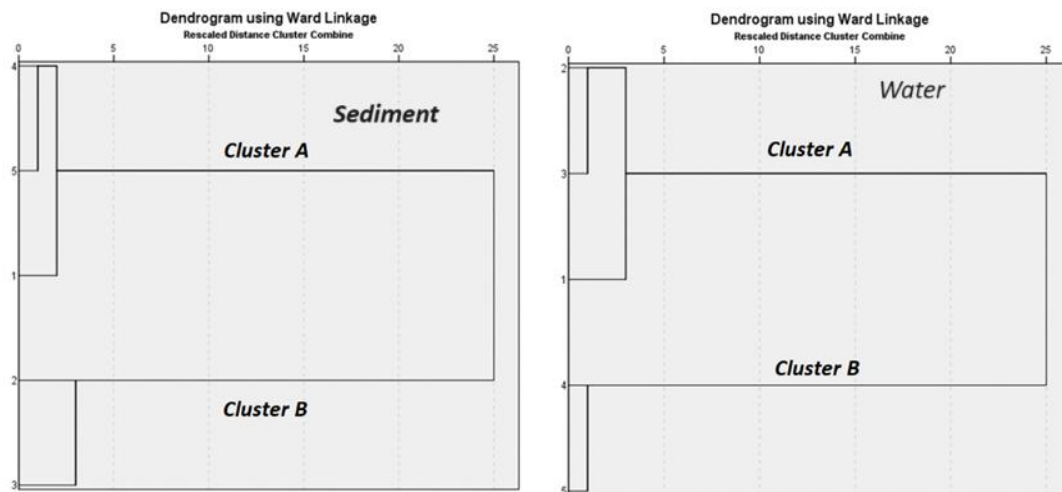


Figure 10. HCA Analysis of MPs of Aksu Stream

### 3.3. Potential Health Impact of MPs

PHI (Potential Health Impact) calculated in the present study in parallel with the studies carried out by Lithner et al. (2011) and Ranjani et al. (2021) was found to be in the damage and risk categories III (High) and IV (Danger). Detailed potential ecological risk of MPs results for water and sediment are given in Tables 1-3.

Table 1. Potential Health Impact of MPs (Total sampling)

Polymers	Proportion (%)	Hazard score *	PHI**	Hazard category**	Risk Category**
PET	23.66	4	94.63	III	High
PE	27.04	11	297.47	IV	High
PP	33.94	1	33.94	III	High
PS	6.66	30	199.78	IV	High
PA	4.95	47	232.55	IV	Danger

<b>PVAc</b>	3.75	10.551	39,59	IV	Danger
-------------	------	--------	-------	----	--------

\* Lithner et al. (2011), \*\*Ranjani et al. (2021).

**Table 2.** Potential Health Impact of MPs (Water)

Polymers (Water)	Proportion (%)	Hazard score *	PHI**	Hazard category**	Risk Category**
<b>PET</b>	22.41	4	89.64	III	High
<b>PE</b>	29.02	11	319.27	IV	Danger
<b>PP</b>	35.19	1	35.19	III	High
<b>PS</b>	4.64	30	139.15	IV	Danger
<b>PA</b>	5.46	47	256.53	IV	Danger
<b>PVAc</b>	3.28	10.551	34.58	III	High

\* Lithner et al. (2011), \*\*Ranjani et al. (2021).

**Table 3.** Potential Health Impact of MPs (Sediment)

Polymers (Sediment)	Proportion (%)	Hazard score *	PHI**	Hazard category**	Risk Category**
<b>PET</b>	2491	4	99.63	III	High
<b>PE</b>	25.06	11	275.68	IV	Danger
<b>PP</b>	32.69	1	32.69	III	High
<b>PS</b>	8.68	30	260.41	IV	Danger
<b>PA</b>	4.44	47	208.57	IV	Danger
<b>PVAc</b>	4.23	10.551	44.59	III	High

\* Lithner et al. (2011), \*\*Ranjani et al. (2021).

#### 4. Conclusions and Recommendations

In accordance with the assessments made, it is predicted that the extent to which microplastic pollution affects the aquatic ecosystem and ultimately human health has reached increasingly serious dimensions. As a result, it is recommended to minimize the wastes, take necessary precautions and carry out monitoring studies in order to reduce the risks posed by the wastes flowing into the sea from the stream, which threaten both the aquatic ecosystem and human health. We are of the opinion that microplastics in the seas will be less risky by 2050 thanks to advanced treatment techniques applied or aimed to be applied in cities, reduction of point source pollution, recycling and reduction of consumption. It is predicted that the extent to which the aquatic ecosystem and ultimately human health are affected by microplastic pollution in line with the evaluations made and that it will be under a more serious danger day by day.

In today's world, plastics should be considered as a kind of pollutant at the point of production and microplastics should be managed by considering their effects on the environment and human health. This study contributes to the growing evidence that MPs contamination is very widespread, even in freshwater ecosystems. It also provides a basis for future risk assessment studies.

## Acknowledgements

The study was carried out with the financial support of the Giresun University Scientific Research Project (FEN-BAP-A-250620-61), Giresun, Türkiye.

## Authors' Contributions

AAU: Conceptualization, methodology, software, validation, formal analysis, investigation, resources, data curation, writing—original draft preparation, writing—review and editing, visualization, supervision. Author has read and agreed to the published version of the manuscript

## Statement of Conflicts of Interest

There is no conflict of interest between the author.

## Statement of Research and Publication Ethics

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

## References

- Akdogan Z., Guven, B., and Kideys, A.E. (2023). Microplastic distribution in the surface water and sediment of the Ergene River, *Environmental Research*, 234 (2023) 116500.
- Akkan, T., Gedik, K., and Mutlu, T. (2023). Protracted dynamicity of microplastics in the coastal sediment of the Southeast Black Sea. *Marine pollution bulletin*, 188, 114722.
- Alprol, A.E., Gaballah, M.S., and Hassaan, M.A. (2021). Micro and nanoplastics analysis: focus on their classification, and impacts in marine environment. *Reg. Stud. Mar. Sci.* 42: 101625.
- Andrady, A.L. (2015). *Plastics and environmental sustainability*. John Wiley & Sons, 2015.
- Aydın, A., and Sunlu, U. (2004). Investigation of carbon and burnable matter levels in the sediments of the South Aegean Sea, *E.Ü. Journal of Fisheries*, 21(3-4), 229-234.
- Baalkhuyur, F. M., et al. (2018). Microplastic in the gastrointestinal tract of fishes along the Saudi Arabian Red Sea coast. *Marine Pollution Bulletin*. 131(April): 407–415.
- Bayhan, B., and Aydın Uncumusaoglu, A. (2024). Abundance, characteristics, and potential ecological risks of microplastics in some commercial fish in İzmir Bay (Aegean Sea, Türkiye). *Regional Studies in Marine Science*, 103488.
- Bellas, J., Martínez-Armental, J., Martínez-Cámara, A., Besada, V., and Martínez-Gómez, C. (2016). Ingestion of microplastics by demersal fish from the Spanish Atlantic and Mediterranean coasts. *Mar. Pollut. Bull.* 109:55–60.
- Çebi, H., and Uncumusaoglu, A. A. (2024). Evaluation of the abundance, characteristics and potential ecological risk of microplastics in Batlama Stream (Giresun, Türkiye). *Menba Kastamonu Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 10(1), 68-82.
- Chen, Y., Leng, Y., Liu, X., and Wang, J. (2020). Microplastic pollution in vegetable farmlands of suburb Wuhan, central China, *Environmental Pollution*, 257, 113449.

- Çil, E. A., Uncumusaoğlu, A. A., Ergen, Ş. F., and Gürbüz, P. (2023). Evaluation of water and sediment quality of İnaltı Cave (Northern Türkiye) by using multivariate statistical methods. *Environmental monitoring and assessment*, 195 (6), 667.
- Çullu, A.F., Sönmez, V.Z., and Sivri, N. (2021). Microplastic contamination in surface waters of the Küçükçekmece Lagoon, Marmara Sea (Turkey): Sources and areal distribution. *Environmental Pollution*, 268, 115-801.
- Daana, K. K. La., Gårdfeldt, K., Lyashevskaya, O., Hassellöv, M., Thompson, R. C. and I. O'Connor, I. (2018). Microplastics in sub-surface waters of the Arctic Central Basin, *Marine pollution bulletin*, 130, 8-18.
- Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande, C., and Tassin, B. (2016). Synthetic fibers in atmospheric fallout: a source of microplastics in the environment? *Mar. Pollut. Bull.* 104, 290–293.
- Enamul Kabir, A. H. M., Sekine, M., Imai, T., Koichi Yamamoto, K., Kanno, A., and Higuchi, T. (2022). Microplastics in the sediments of small-scale Japanese rivers: Abundance and distribution, characterization, sources-to-sink, and ecological risks. *Science of the Total Environment*, 812, 152590.
- Fan, Y., Zheng, J., Deng, L., Rao, W., Zhang, Q., Liu, T., and Qian, X. (2022). Spatiotemporal dynamics of microplastics in an urban river network area. *Water Research*, 212, 118116.
- Frias, J.P., and Nash, R., (2019). Microplastics: Finding a consensus on the definition, *Marine pollution bulletin*, 138, 145-147.
- Gatidou, G., Arvaniti, O.S., and Stasinakis, A. S. (2019). Review on the occurrence and fate of microplastics in Sewage Treatment Plants, *Journal of hazardous materials*, 367, 504-512.
- Gedik, K., and Gozler, A. M. (2022). Hallmarking microplastics of sediments and *Chamelea gallina* inhabiting Southwestern Black Sea: A hypothetical look at consumption risks. *Mar. Pollut. Bull.*, 174, 113252.
- Hermsen, E., Pompe, R., Besseling, E., and Koelmans, A.A. (2017). Detection of low numbers of microplastics in North Sea fish using strict quality assurance criteria. *Mar. Pollut. Bull.* 122, 253-258.
- Huang, C.W., Li, Y.L., Lina, C., Bui, X., Vo, T., and Ngo, H. (2023). Seasonal influence on pollution index and risk of multiple compositions of microplastics in an urban river. *Science of the Total Environment*, 859, 160021.
- İpek, G. G., Aras, S., Arslan, N., and Mutlu, E. (2024). Evaluation of Freshwater Water Quality with Indexes and GIS-Based: A Case Study, Güren Stream (Küre Mountains National Park, Western Black Sea Basin, Turkey). *Water Resources*, 51(3), 332-343.
- Kulkarni, N.N., and Anantharama, V. (2020). Repercussions of COVID-19 pandemic on municipal solid waste management: Challenges and opportunities, *Science of the Total Environment*, 743, 140693.
- Lithner, D., Larsson, A., and Dave, G. (2011) Environmental and health hazard ranking and assessment of plastic polymers based on chemical composition. *Science of the Total Environment*, 409(18), 3309–3324.
- Liu, L., Tang, Z., Kong, M., Chen, X., Zhou C., Huang, K., and Wang, Z., (2019). Tracing the potential pollution sources of the coastal water in Hong Kong with statistical models combining APCS-MLR, *Journal of Environmental Management*, 245, 143-150.
- Masura, J., et al. (2015). Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48*.
- Özgüler, Ü. (2022). Determination of the Effect of the Abundance of Microplastics from Some Rivers Draining into Mersin Bay during the Rainy Season, Mersin University, *Institute of Science and Technology, Department of Environmental Engineering*, MSc Thesis.
- Ranjani, M., Veerasingam, S., Venkatachalapathy, R., Mugilarasan, M., Bagaev, A., Mukhanov, V., and Vethamony, P. (2021). Assessment of potential ecological risk of microplastics in the coastal sediments of India: A meta-analysis. *Marine Pollution Bulletin*, 163.
- Shekoohian, S., and Akbarzadeh, A. (2022). The abundance of microplastic pollution along the Jajroud river of Tehran: Estimating the water quality index and the ecological risk, *Ecological Indicators*, 145, 109629.
- Tiseo, I. (2021). Annual production of plastics worldwide from 1950 to 2020. *UNDP*, 2016. Goal 14: Life Below Water, UNDP Support to the Implementation of Sustainable Development Goal.
- Tokatli, C., Mutlu, E., Ustaoglu, F., Islam, A. R. T., and Muhammad, S. (2024). Spatiotemporal variations, health risk assessment, and sources of potentially toxic elements in potamic water of the Anday Stream Basin (Türkiye), Black Sea Region. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(5), 420.
- Vaid, M., Sarma, K., and Gupta, A. (2021). Microplastic pollution in aquatic environments with special emphasis on riverine systems: current understanding and way forward. *J. Environ. Manag.* 293, 112860.

- Wang, W., Ndungu, A. W., Li, Z., and Wang, J. (2017). Microplastics pollution in inland freshwaters of China: A case study in urban surface waters of Wuhan, China. *Science of the Total Environment*, 575, 1369-1374.
- Wang, G., Lu, J., Tong, Y., Liu, Z., Zhou, H., and Xiayihazi, N. (2020). Occurrence and pollution characteristics of microplastics in surface water of the Manas River Basin, China. *Sci. Total Environ.* 710, 136099.
- Wright, S., Ulke, J., Font, A., Chan, K., and Kelly, F. (2020). Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport, *Environment international*, 136, 105411.
- Xu, E.G., and Ren, Z. J., (2021). Preventing masks from becoming the next plastic problem, *Front. Environ. Sci. Eng.* 15, (6)125.
- Xu, P., Peng G., Su L., Gao Y., Gao L., and Li D. (2018). Microplastic risk assessment in surface waters: A case study in the Changjiang Estuary, China. *Mar. Pollut. Bull.* 133: 647–654.
- Xu, Z., X. Bai, X., Li, Y., Weng, Y., and Li., F. (2023). New insights into the decrease in Cd<sup>2+</sup> bioavailability in sediments by microplastics: Role of geochemical properties, *J. Hazard. Mater.*, 442,130103,
- Zhao, X., Liu, Z., Cai, L., and Han, J. (2023). Occurrence and distribution of microplastics in surface sediments of a typical river with a highly eroded catchment, a case of the Yan River, a tributary of the Yellow River. *Science of the Total Environment*, 863(3), 160932.
- Zhou, G., Wang, Q., Zhang, J., Li, Q., Wang, Y., Wang, M., and Huang, X. (2020). Distribution and characteristics of microplastics in urban waters of seven cities in the Tuojiang River basin, China. *Environmental Research*, 189, 109893.
- Zhou, Z., Zhang, P., Zhang, G., Wang, S., Cai, Y., and Wang, H. (2021). Vertical microplastic distribution in sediments of Fuhe River estuary to Baiyangdian wetland in northern China. *Chemosphere*, 280, 130800.

## Physicochemical Properties of Different Melon Seed Oils Dried at Different Temperatures

Hafize Ayla SARI<sup>1\*</sup>, Mustafa Remzi OTAĞ<sup>2</sup>

### Abstract

In this study, the effect of the drying process on the quality of oils obtained from different melon seeds was investigated. The seeds of two different melon varieties (Kırkağaç, Hasanbey) were separated and dried in the oven at different temperatures (30, 50 and 70 °C). Moisture, 1000 grain weight, width, length, thickness, oil yield, free fatty acidity, peroxide value, color values (L\*, a\*, b\*), and total phenolic substance amounts and fatty acid composition were examined. The average of initial moisture values was 6.42% and 5.48%. The drying process was carried out until the moisture rate of melon seeds reached 1%. The average of most values of the cores varied from 4.55-5.16 mm, length 12.82-13.18 mm, thickness 1.21-1.38 mm and 1000 grain weights varied from 52.40-45.70 g. The amount of total phenolic substances of Kırkağaç melon seed oil was found in the range of 584-691 mg GAE /kg, and Hasanbey melon seed oil in the range 780-840 mgGAE / kg. The amount of total phenolic substance decreased with the applied heat treatment. The peroxide values of the oil obtained from Kırkağaç and Hasanbey beans in terms of meqO<sub>2</sub> / kg varied between 6.9-8.4 and 7.2-9.1, respectively. The highest peroxide value was observed in oil obtained from beans dried at 70°C in both varieties. It has been observed that oleic and palmitic acids are also followed by linoleic acid compared to fatty acid composition compared to other fatty acids. According to the results obtained, it was determined that the most effective drying temperature was 50°C in terms of efficiency and quality.

**Keywords:** Melon, Melon seed oil, Drying, Fatty acids, Total phenol, Physicochemical properties.

## Farklı Sıcaklıklarda Kurutulan Değişik Kavun Çekirdeği Yağlarının Fizikokimyasal Özellikleri

### Öz

Bu çalışmada, kurutma işleminin farklı kavun çekirdeklerinden elde edilen yağların kalitesine etkisi araştırılmıştır. İki farklı kavun çeşidinin (Kırkağaç, Hasanbey) tohumları ayrılarak farklı sıcaklıklarda etüve kurutulmuştur. Kurutma sıcaklığı olarak 30, 50, 70°C, kavunlarda Kırkağaç ve Hasanbey çeşitleri kullanılmıştır. Nem, 1000 tane ağırlığı, en, boy, kalınlık, yağ verimi, serbest yağ asitliği, peroksit değeri, renk değerleri (L\*, a\*, b\*) ve toplam fenolik madde miktarları ile yağ asidi kompozisyonu incelenmiştir. Başlangıç nem değerlerinin ortalaması %6,42 ve %5,48 olarak belirlenmiştir. Kurutma işlemi kavun tohumlarının nem oranı %1'e ulaşana kadar gerçekleştirilmiştir. Çekirdeklerin en değerlerinin ortalaması 4,55-5,16 mm, boyu 12,82-13,18 mm, kalınlığı 1,21-1,38 mm ve 1000 tane ağırlıkları 52,40-45,70 g olarak değişmiştir. Toplam fenolik madde miktarı Kırkağaç kavun çekirdeği yağı 584-691 mg GAE/kg, Hasanbey kavun çekirdeği yağı 780-840 mgGAE/kg aralığında bulunmuştur. Toplam fenolik madde miktarı uygulanan ısı işlem ile azalmıştır. Kırkağaç ve Hasanbey çekirdeklerinden elde edilen yağların meqO<sub>2</sub>/kg cinsinden peroksit değerleri sırasıyla 6,9-8,4 ve 7,2-9,1 arasında değişmiştir. Her iki çeşitte de en yüksek peroksit değeri 70°C'de kurutulan fasulyelerden elde edilen yağda gözlenmiştir. Yağ asidi kompozisyonu diğer yağ asitleri ile kıyaslandığında oleik ve palmitik asidin linoleik asit tarafından takip edildiği görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre verim ve kalite açısından en etkili kurutma sıcaklığının 50°C olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kavun, Kavun çekirdeği yağı, Kurutma, Yağ Asitleri, Toplam fenolik madde, Fizikokimyasal özellikler.

<sup>1</sup>Aydın Adnan Menderes University, Çine Vocational School, Food Processing Department, Aydın, Türkiye, [asari@adu.edu.tr](mailto:asari@adu.edu.tr)

<sup>2</sup>Giresun University, Engineering Faculty, Food Engineering Department, Giresun, Türkiye, [mustafa.otag@giresun.edu.tr](mailto:mustafa.otag@giresun.edu.tr)

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

Geliş/Received: 08.04.2024

Kabul/Accepted: 02.06.2024

Yayın/Published: 18.06.2024

## 1. Introduction

Melon (*Cucumis melo*), one of the species belonging to the family of *Cucurbitaceae*, is an annual plant that is cultivated in regions with warm and mild climates. Its oval or elliptical fruit with long seeds weighs between 1 and 7 kg. Melon is a pulpy and succulent vegetable with a pleasant aroma and a delicate flavor; it is generally harvested during the summer months. Typically, it is oval or round, growing up to a length of 3.21 cm and a width of 2.86 cm (Khoshnm et al., 2016).

It is known that melon fruit contains approximately 90% water, 0.84% protein, 0.19% fat, 0.65% ash, 0.9% fiber and 8.16% carbohydrate (Schaffer and Paris, 2003). In a study on growth and yield characteristics and characterization of some melon varieties, it was reported that sucrose was the most important carbohydrate followed by fructose and glucose. It was also found that vitamin A content was between 500 and 4200 IU/100g, vitamin C content was 6-60 mg/100g and potassium content was between 130 and 330 mg/100g depending on the variety. In a study on growth and yield characteristics and characterization of some melon varieties. (Salunkhe and Kadam, 1998). Amaro et al. (2015), in a study on biologically active compounds in melon, determined that the vitamin C content of melon fruit was 36 mg/100g, vitamin A content was 0.17 mg/100g,  $\alpha$  tocopherol content was 0.05 mg/100g,  $\gamma$  tocopherol content was 0.11 mg/100g and total phenolic substance content was 109 mg/100g. Melon seeds are a good source of protein (15-36%) and fiber (7-44%) (Silva et al., 2020). According to the study reported by Mallek-Ayadi et al. (2018), the most abundant phenolic compound in melon seed oil was amentoflavone ( $32.80 \pm 0.21$   $\mu\text{g/g}$  fresh weight (fw)). The phenolic acids identified were gallic ( $7.26 \pm 0.02$   $\mu\text{g/g}$  fw), protocatechuic ( $0.89 \pm 0.01$   $\mu\text{g/g}$  fw), caffeic ( $3.13 \pm 0.00$   $\mu\text{g/g}$  fw) and rosmarinic acids ( $2.91 \pm 0.04$   $\mu\text{g/g}$  fw).

According to cultivation areas around the world, melon varieties are classified as: A. Cantaloupes or Aromatic Melons, B. Casaba (with a fruit with white flesh) and Honeydew (with a fruit with green flesh) Melons, C. Galia Melons, D. Japanese Melons, E. Melons of Ananas Variety, F. French (Charentais) Melons, G- Spanish Melons, H. Italian Melons and I- Turkish Melons (Rolim et al., 2019).

Melon varieties are widely cultivated in numerous countries all over the world, the biggest producer countries are China, Turkey, Iran, Egypt and India (FAO, 2018). Table 1 illustrates the volumes of melon production by producer countries.



**Table 1.** Volumes of melon production by producer countries (FAO, 2018).

Country	China	Turkey	Iran	Egypt	India	Kazakhstan	USA	Spain	Italy
<b>Volume of Production (in tons)</b>	16009	1854	1615	1060	1028	898	783	661	632

With a production capacity of 1403 tons, Turkey is a major melon producer ahead of many other countries (TUIK, 2023). Due to favorable climatic conditions that ensure the cultivation of melons, melon is widely produced in all regions across our country (Eşiyok et al., 2005). The melon varieties produced in our country include Topatan and Kantalup, two important varieties found in markets during summer, and the varieties of Altınbaş and Hasanbey which are winter melons with a higher resistance level (Yılmaz et al., 2021; Lija and Beevy, 2021).

The melon varieties that are widely cultivated in Turkey are Hasanbey, Kırkağaç, Yuva, Van, Topatan, Honeydew and Casaba (Anonymous, 2007). Table 2 shows the volumes of melon production in our country by year.

**Table 2.** Volumes of melon production in Turkey by years (TUIK, 2023).

Years	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Volumes of Production (in tons)</b>	1647	1688	1699	1707	1719	1854	1813	1753	1777	1724	1638	1587	1403

With a production amount of 116 tons, the province of Adana ranks first in respect of melon production in our country, followed by the provinces of Konya, Denizli, Ankara, Manisa, Balıkesir, Çankırı and Diyarbakır, respectively (TUIK, 2023).

Besides being used for fresh consumption and also for the production of fruit juices, jams, ice creams, fruit yogurts, cakes and pickles, melons are used in the pharmaceutical and cosmetic industries as well (Zia et al., 2021).

The seeds of the melon varieties produced in our country can be consumed in many ways: Besides being directly consumed as a snack food, used to produce pastry products after roasting or can be eaten mixed with grape molasses or are also used in cooking dishes like stuffed meatballs, a kind of stuffed meatballs. Sübye, a kind of caudle, is also produced from melon seeds (Lija and Beevy, 2021).

In recent times, the food processing industry has focused on the possibilities to make optimal use of waste materials and by-products. This has created highly reusable new sources, which has eventually made it possible to produce a great variety of new foods. As a result, it is suggested that

more efforts are required to improve the by-products and waste materials with nutritional and industrial value (El-Adawy et al., 1999).

As it is known, linoleic acid, which is one of the essential fatty acids, is very beneficial for human health, especially in terms of the brain and cardiovascular systems. Phytosterols are beneficial for human health by reducing cholesterol absorption. Tocopherols act as primary antioxidants by disrupting the reaction chain during oxidation (Katan et al., 2003; Wahle et al., 2015; da Silva and Jorge, 2017). Considering the mentioned important properties of essential fatty acids, phytosterols and tocopherols, it becomes very important to produce watermelon and melon seed oils containing these substances at significant rates and to offer them to people for consumption.

Nowadays, there has arisen a need for alternative oily seeds and kernels due to a scarcity of the resources of edible oils that are currently widely used (Ramadan et al., 2006). This gap in the supply of vegetable oils and saturated fats that is observed today all over the world has increased as a result of rapid industrial growth and an uncontrolled increase in population. This is a phenomenon that impacts developing countries with the result that it increases their dependence on foreign resources, and, additionally, people have difficulty in meeting their needs for edible oil. Such a shortage in vegetable oil sources has led to further research on alternative sources of oils and saturated fats of vegetable origin (Anwar et al., 2008).

The objective of this work is to investigate the effect of three different temperatures (30, 50, and 70 °C) on the quality of oils obtained from the seeds of two different melon varieties (Kırkağaç, Hasanbey).

## 2. Materials and Methods

The seeds used in the present study were obtained from the variety of Kırkağaç-Altınbaş and from that of Hasanbey harvested in October 2019. The seeds were manually selected from the fruit pulp, washed and dried in a drying oven before using. The melon seeds used in the study were subjected to a drying process in a drying oven at three different temperatures of 30, 50, and 70 °C. The seeds used in these three different drying experiments, 20 grams of seeds for each process, were obtained by manual selection from the fruit pulp. The analyses were undertaken in triplicate, with the average values of each analysis taken into account for the final analysis. Weight loss was monitored at 1 hour time intervals during the drying process. The drying process was completed when the moisture content of the melon seeds reached approximately 1%. A drying oven (Yücebaş Makine Tic. Ltd. Şti., İzmir, Turkey) with a constant air velocity of 0.3 m/s and 40x60 cm trays was used for the experiments.

## **2.1. Analyses on Melon Seeds**

Fruit and seed dimensions: The width, length and thickness of 50 fruits were calculated, and the average values were taken into account.

### **2.1.1. 1000-Seed Weight**

The 1000-seed weight was determined by weighing 100 unbroken and intact seeds and then multiplying the result by ten (Aksoy, 1991).

### **2.1.2. Determination of Moisture**

The drying trays were weighed at an assay balance after they were dried for two hours at a temperature of  $105\pm 2^{\circ}\text{C}$  in the drying oven and kept in a desiccator. To calculate the moisture content in percentage, the drying trays with 3-4 g seeds were kept in the drying oven, cooled off in the desiccator, and the process was carried on until the fixed weighing (AOAC, 2000).

## **2.2. Analysis of Oil in Melon Seed Oil**

### **2.2.1. Determination of Free Fatty Acids (FFA) content**

Free fatty acids and acid values were determined using the AOCS method (2006). Samples of 5 or 10 grams were weighed and dissolved in an ethyl alcohol-diethyl ether mixture of 50 or 150 ml. The solvent thus obtained was titrated in a 0.1N KOH solvent with a phenolphthalein indicator. FFA value was calculated as mg KOH/g oil.

### **2.2.2. Determination of Color**

The Minolta Chroma Meter was used to measure the color coordinates ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$  values) of the melon seed oil samples obtained in our study. The color coordinates of  $L^*$  value, 0 (black) and 100 (white),  $a^*$  (+60 red; -60 green) and  $b^*$  (+60 yellow; -60 blue) were determined using the color coordination system of CIE  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ . The measurements were undertaken in triplicate on the melon seed oil samples obtained from each type and variety (Veg-Galvez et al., 2009).

### **2.2.3. Determination of peroxide value**

The AOCS's Cd 8-53 standard method was used for this analysis (Anonymous, 1989).

### **2.2.4. Oil's Fatty Acid Composition**

The fatty acid composition of the oil samples was determined using a chromatography technique based on fatty acid methyl ester values by esterifying them in an alkaline environment according to the method of FAME DGF c-VI11d. Fatty acid methyl esters were determined by gas chromatography (Shimadzu GC 2010) using a flame ionization detector (FID) and capillary column (Teknokroma TR CN 100, P/N TR882162 fused silica column, 60m x 0.25mm x 0.20 $\mu$ m). Operating conditions of the device; detector and injection block 260 °C, total flow rate 80ml/min, split ratio 1/40 ml/min.

### **2.2.5. Extraction**

In the process of extraction the melon seed samples were ground for one minute in a coffee grinder (Bosch, MKM 6000, Type: KM 13) and homogenized by adding an 80% methanol solvent at a rate of 1:10 (w/v). The solvent thus obtained was then centrifuged for 10 minutes at 4°C and 5000 rpm, after which the first extract phase was separated, and the residue was extracted twice more. The samples were analyzed immediately after the extraction.

### **2.2.6. Determination of Total Phenolic Content**

Total phenolic content was determined spectrophotometrically after extraction of phenolic substances from melon seeds. For extraction, 20 ml of methanol and water (80:20 v/v) was added to approximately 2g sample and shaken for 3 hours at room temperature. 20 ml of hexane was added to the remaining extract from the filtered samples and after phase separation in the separatory funnel, the remaining methanol phase was taken into tubes and used in the analyses (Vinha et al., 2005). The Folin-Ciocalteu assay was used for this analysis. The total phenolic content was calculated using a calibration graph consisting of Gallic acid solvents in different concentrations (Slinkard et al., 1977).

### 2.3. Statistical Analyses

The data obtained from the experiments realized in two parallel assays on the samples from triplicate experiments on two different melon varieties were subjected to variance (ANOVA) analyses in compliance with experiment designs. The package program of SPSS 17.0 for Windows was used to perform the variance analyses.

### 3. Findings and Discussion

The physical characteristics, oil contents, different drying temperatures as well as chemical characteristics of two different melon seeds were examined in comparison with each other. Table 3 shows the values of melon seeds such as moisture, 1000-seed weight, width, length and thickness.

**Table 3.** Melon seeds moisture, 1000 grain weight, width, length, thickness values

Variety	Moisture (%)	1000 Grain Weight (g)	Width (mm)	Length (mm)	Thickness (mm)
Kırkağaç	6.42±0.47	52.40±0.57	4.55±0.11	12.82±0.67	1.21±0.08
Hasanbey	5.48±0.23	45.70±0.74	5.16±0.18	13.18±1.12	1.38±0.13

Mean ± standard deviation N=3

According to their physical characteristics, the average values of the Kırkağaç and Hasanbey melon varieties were found as 6.42% and 5.48%. The averages of the maximum values of the seeds were found as 4.55 – 5.16 mm, length as 12.82-13.18 mm, thickness as 1.21-1.38 mm and 1000-seed weights as 52.40-45.70 g.

Mansouri et al. (2017), found that the length, width and thickness of melon seeds were 7.79 mm 3.34 mm and 1.20 mm, respectively. It is an expected result that there is a difference in seed sizes due to the difference in melon varieties.

Thousand-grain weight and seed hull ratio values are important parameters that show the value of seeds used in oil production. Thousand-grain weight is accepted to give an idea about the density of the seed and the amount of seed content.

**Table 4.** Chemical analysis results of oil of melon seeds

Variety	Drying Temperatures (°C)	Oil (%)	Free acidity (mgKOH/g)	Peroxide value (meq O <sub>2</sub> /kg)	Color			Total Phenolic Content (mgGAE/kg)
					L*	a*	b*	
<b>Kırkağaç</b>	30	26.18±2.13 <sup>a</sup>	1.39±1.2 <sup>a</sup>	6.9±1.05 <sup>a</sup>	65.84±2.45 <sup>a</sup>	-6.45±0.002 <sup>b</sup>	29.87±1.15 <sup>a</sup>	691±1.00 <sup>b</sup>
	50	28.52±1.74 <sup>b</sup>	1.78±1.1 <sup>ab</sup>	7.5±1.11 <sup>a</sup>	68.78±2.12 <sup>b</sup>	-5.86±0.15 <sup>a</sup>	31.12±1.02 <sup>a</sup>	662±1.15 <sup>b</sup>
	70	25.60±2.02 <sup>a</sup>	3.05±0.8 <sup>c</sup>	8.4±1.06 <sup>b</sup>	70.42±2.04 <sup>b</sup>	-7.14±0.16 <sup>c</sup>	38.45±1.14 <sup>c</sup>	584±2.07 <sup>a</sup>
<b>Hasanbey</b>	30	29.49±2.35 <sup>ab</sup>	1.22±0.7 <sup>a</sup>	7.2±1.09 <sup>a</sup>	64.52±2.13 <sup>a</sup>	-5.98±0.009 <sup>a</sup>	33.45±1.26 <sup>ab</sup>	840±2.00 <sup>c</sup>
	50	33.45±1.41 <sup>c</sup>	1.48±0.9 <sup>b</sup>	7.9±1.12 <sup>ab</sup>	68.14±2.45 <sup>b</sup>	5.20±0.0018 <sup>a</sup>	35.89±1.24 <sup>b</sup>	802±2.18 <sup>c</sup>
	70	28.36±1.24 <sup>b</sup>	2.89±1.0 <sup>c</sup>	9.1±1.09 <sup>c</sup>	71.01±2.37 <sup>b</sup>	-6.42±0.002 <sup>b</sup>	39.76±1.09 <sup>c</sup>	780±1.90 <sup>bc</sup>

\*Mean ± standard deviation (n=3) with different superscript letters for varieties are significantly different at p≤0.05;

The average values regarding the raw oil content of Kırkağaç and Hasanbey varieties obtained after the drying of the melon seeds in different temperatures were found 26.18, 29.49% in the seeds dried at 30°C, 28.52, 33.45% in those dried at 50°C and 25.60, 28.36% in the ones dried at 70°C, respectively. The results revealed that the seeds of the Hasanbey variety dried at 50°C gave the best extraction yield. In a study examining the effects of heat treatments on kernel components, some increase in oil content as a result of the roasting process applied to the kernels of *Cucurbitaceae* species was explained by the ease of oil extraction as a result of the heat treatment applied (Badifu, 2001). In this study, when the drying temperature was increased from 30°C to 50°C, the yield increased, but when the drying temperature was increased to 70°C, it was thought that the separation of oil from water was difficult due to the formation of oil-water emulsions, and the oil yield obtained decreased because the phase separation could not be done completely.

The results showed that, while the free fatty acid values varied between 1.22-3.05 mgKOH/g, the values of the Hasanbey variety were lower than the ones of the variety of Kırkağaç. Higher temperatures indicated higher free fatty acid values.

The peroxide values in meq/kg of the oils obtained varied between 6.9-8.4 and 7.2-9.1 for the seed oil of Kırkağaç melons and for that of the Hasanbey variety, respectively. The seeds dried at 70°C yielded the highest peroxide value in both varieties. It is thought that the oils contained in the kernels are oxidized due to the heat treatments they are exposed to before oil extraction.

The total amount of phenolic substances was between 584-691 mgGAE/kg in the oil of the Kırkağaç variety and between 780-840 mgGAE/kg in that of the Hasanbey melons. The seed oil of the Hasanbey variety dried at 30°C yielded the best values regarding total phenolic compound content (Table 2).

As far as the L\*, a\*, and b\* values are concerned, which relate to color properties, the study results revealed that, while a parallel increase was found in both of the oil samples extracted from the

melon seeds that were heat treated during the drying process, the values of the Hasanbey variety were higher than all other results except for the  $L^*$  value at 30°C.

Andjelkovic et al. (2010) found color values (L, a, b) in 5 different cold-pressed pumpkin seed oils in the range of 43.09-43.99; 1.88-3.44; -0.46-1.44, respectively. de Conto et al. (2011) stated that the reason why the watermelon seed oil obtained by the cold pressing method is redder than the solvent extraction method may be due to the higher carotenoid content of the oils obtained by the cold pressing method compared to the solvent method. In another study, L,  $a^*$ ,  $b^*$  values of different melon seed oils were found between 48.29-91.78, (-)3.51-(-)5.21, 22.05-49.44, respectively (Petkova et al., 2014). Color changes were observed due to Maillard products caused by the heat treatment applied during the drying process.

**Table 5.** Fatty Acid Composition of Melon Seeds Oil (%)

Variety	Drying Temperatures (°C)	Palmitic	Stearic	Oleic	Linoleic	Arachidic	Linolenic	Arachidonic
Kırkağaç	30	8.107±0.63 <sup>a</sup>	5.903±0.017 <sup>a</sup>	17.740±0.16 <sup>a</sup>	71.110±0.24 <sup>bc</sup>	0.177±0.010 <sup>a</sup>	0.194±0.0025 <sup>b</sup>	0.125±0.045 <sup>ab</sup>
	50	7.925±0.74 <sup>a</sup>	5.245±0.026 <sup>ab</sup>	17.967±0.23 <sup>a</sup>	70.239±0.43 <sup>c</sup>	0.198±0.018 <sup>b</sup>	0.174±0.0027 <sup>b</sup>	0.137±0.03 <sup>ab</sup>
	70	7.157±0.6 <sup>b</sup>	6.102±0.036 <sup>a</sup>	18.093±0.17 <sup>a</sup>	69.749±0.27 <sup>ab</sup>	0.185±0.010 <sup>a</sup>	0.151±0.0019 <sup>b</sup>	0.132±0.02 <sup>ab</sup>
Hasanbey	30	7.854±0.52 <sup>a</sup>	5.120±0.048 <sup>ab</sup>	19.580±0.21 <sup>ab</sup>	67.900±0.31 <sup>b</sup>	0.201±0.008 <sup>b</sup>	0.081±0.0032 <sup>a</sup>	0.102±0.035 <sup>a</sup>
	50	7.267±0.7 <sup>b</sup>	4.986±0.029 <sup>b</sup>	19.879±0.32 <sup>ab</sup>	66.732±0.17 <sup>a</sup>	0.225±0.014 <sup>ab</sup>	0.075±0.0029 <sup>a</sup>	0.118±0.02 <sup>b</sup>
	70	6.845±0.5 <sup>b</sup>	5.256±0.026 <sup>ab</sup>	20.034±0.02 <sup>b</sup>	65.579±0.46 <sup>a</sup>	0.218±0.026 <sup>ab</sup>	0.058±0.0033 <sup>a</sup>	0.105±0.03 <sup>a</sup>

\*Mean ± standard deviation (n=3) with different superscript letters for varieties are significantly different at  $p \leq 0.05$ ;

The linoleic acid predominated in all oils, followed by the oleic acid, which classified them as linoleic type of oils. The results about the fatty acid composition of the oils of the studied seeds from different melon varieties were similar to the data announced by other authors as a result of their studies of the composition of the melon seed oils, in which the main acids were: linoleic (66.73-71.11%), oleic (17.74-20.03.0%), palmitic (6.84-8.11%), and stearic acid (4.99-6.10%) (de Mello et al., 2001; Hemavathy, 1992; Imbs & Pham, 1995; Milovanovic & Picuric-Jovanovic, 2005).

Besong et al., 2011 compared melon seeds with peanuts and soya beans and reported similar contents of palmitic (10.27%), stearic (10.26%), oleic (15.90%), and linoleic (62.42%).

The results regarding oil acid composition revealed that the average palmitic (C16:1) and linoleic (C18:2) acid values of all the varieties decreased parallel to an increase in thermal process temperature, and the oleic (C18:1) and linoleic (C18:3) acid values, on the other hand, increased parallel to an increase in thermal process temperature. The results showed that, while the value of stearic acid (C18:0) decreased at a temperature of 50°C, it increased at 70°C. On the other hand, no change that would have a significant effect on the arachidic and arachidonic acid values was observed.

The results concerning fatty acid composition show that linoleic acid was higher than other fatty acids, followed by oleic and palmitic acid.

#### **4. Conclusions and Recommendations**

The overall results of the present study show that the best drying temperature concerning the oil quality parameters of the melon seeds was 50°C. Even though an increase in the temperature accelerated the drying process, it decreased the total phenolic compound amount and caused a decrease in the peroxide values. For this reason, the temperature must be maintained constant to a certain extent in order not to deteriorate the chemical structure of the dehydrated products. The results regarding fatty acid composition indicate a high essential linoleic acid content, a character that is an indication of usability in the food industry. The study concludes, based on the analyses of the two varieties investigated in the present study, that the variety of Hasanbey yields better results in comparison with the Kırkağaç variety.

In order to contribute to the literature, it is planned to carry out further studies on the drying of different types of melon seeds grown in our country and in the world at 50-70°C, with fewer temperature intervals, in addition to different drying techniques, so the results of this study are important in this respect.

#### **Authors' Contributions**

All authors contributed equally to the study.

#### **Statement of Conflicts of Interest**

There is no conflict of interest between the authors.

#### **Statement of Research and Publication Ethics**

The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

#### **References**

Aksoy, U., (1991). Kuru İncir Üretiminde Kaliteyi Etkileyen Faktörler, İncirde Verimlilik Paneli MPM, Aydın.



- Amaro A.L., Oliveira A., and Almeida D.P.F. (2015). *Biologically Active Compounds in Melon: Modulation by Preharvest, Post-harvest, and Processing Factors*. In: Preedy, V., Ed. *Processing and Impact on Active Components in Food*. Academic Press, London.
- Anonymous, (1989). American Oil Chemists' Society Peroxide Value Official Method Cd 853 (93) Volume-1
- Anonymous, (2007). TS-1073 Kavun Standardı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara,
- Anwar, F., Naseer, R., Bhangar, M.I., Ashraf, S., Talpur, F.N., and Aladedunye, F.A. (2008). Physico-chemical characteristics of citrus seeds and seed oils from Pakistan. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85 (4), 321-330.
- AOAC, (2000). Official Methods of Analysis. Virginia, USA.
- AOCS, (2006). Official Methods and Recommended Practices of the American Oil Chemists Society, 4th ed, edited by AOCS. Champaign, IL Official Method Ai 2 75.
- Badifu, G. I. O. (2001). Effect of processing on proximate composition, antinutritional and toxic contents of kernels from Cucurbitaceae species grown in Nigeria. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(2), 153-161.
- Besong, S.A., Ezekwe, M.O., Fosung, C.N., and Senwo, Z.N. (2011). Evaluation of nutrient composition of African melon oilseed (*Cucumeropsis mannii* Naudin) for human nutrition. *International Journal of Nutrition and Metabolism*, 3(8), 103-108.
- da Silva A.C., and Jorge N. (2017). Bioactive Compounds of Oils Extracted from Fruits Seeds 70 Obtained from Agroindustrial Waste. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 119, 1-5.
- de Mello, M.L., Bora, P.S., and Narain, N. (2001). Fatty and amino acids composition of melon (*Cucumis melo* var. *saccharinus*) seeds. *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(1), 69-74.
- El-Adawy, T.A., Rahma, E.H., El-Bedawy, A.A. ve Gafar, A. M., (1999). Properties of some citrus seeds Part 3, Evaluation as a new source of protein and oil, *Nahrung*, 43, 385-391.
- Eşiyok, D., Bozokalfa, M. K., Boztok, K. (2005). Bazı Kavun (*Cucumis melo* L.) Çeşitlerinin Verim ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi., *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 42(1), 25-33.
- FAO, (2018). The Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database.
- Hemavathy, J. (1992). Lipid composition of melon (*Cucumis melo*) kernel. *Journal of Food Composition and Analysis*. 5, 90-95.
- Imbs, A.B., and Pham, L.Q. (1995). Lipid composition of ten seed species from North Vietnam. *The Journal of the American Oil Chemists' Society*, 72(8), 957-961.
- Katan, M.B., Grundy, S.M., Jones, P., Law, M., Miettinen, T., and Paoletti R. (2003). Efficacy and Safety of Plant Stanols and Sterols in the Management of Blood Cholesterol Levels. *Mayo Clinic Proceedings*, 78, 965-978.
- Khoshnam, F., Namjoo, M., Golbkhshi, H., and Dowlati, M., (2016). Physical and Mechanical Changes in Ripening Melon Fruits. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 26(2), 135-144.
- Lija, M., and Beevy, S.S. (2021). A review on the diversity of Melon. *Plant Science Today*, 8, 995-1003.
- Mallek-Ayadi, S., Bahloul, N., and Kechaou, N. (2018). Chemical composition and bioactive compounds of *Cucumis melo* L. seeds: Potential source for new trends of plant oils. *Process Safety and Environmental Protection*, 113, 68-77.
- Mansouri A., Mirzabe A.H., Raufi A., 2017. Physical properties and mathematical modeling of melon (*Cucumis melo* L.) seeds and kernels. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16: 218-226.
- Milovanović, M., and Pićurić, J.K. (2005). Characteristics and composition of melon seed oil. *Journal of Agricultural Sciences (Belgrade)*, 50(1), 41-47.
- Petkova, Z.Y., Antova, G.A., Nikolova, K.T., and Eftimov, T.A. (2014). Physicochemical characteristic of seed oils of Bulgarian species pumpkin and melon. *Bulgarian Chemical Communications*, 46, 57-62.
- Ramadan, M.F., Sharanabasappa, G., Seetharam, Y.N., Seshagiri, M. and Moersel, J.T. (2006). Characterization of fatty acid and bioactive compounds of kachnar (*Bauhinia purpurea* L.) seed oil, *Food Chemistry*, (98), 359-365.
- Rolim, P.M., Seabra, L. M.J., and de Macedo, G.R. (2019). Melon by-products: Biopotential in human health and food processing. *Food Reviews International*, 1-24.
- Salunkhe, D. K., ad Kadam, S S. (1998). *Handbook of vegetable science and technology: production, composition, storage, and processing*. CRC press.
- Schaffer, A.A, and Paris, H.S., (2003). *Melons, Squashes, and Gourds*. In: Caballero, B., Ed. *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*. Academic Press, London.

- Silva, M.A., Albuquerque, T.G., Alves, R.C., Oliveira, M.B.P., and Costa, H.S. (2020). Melon (*Cucumis melo* L.) by-products: Potential food ingredients for novel functional foods? *Trends in Food Science & Technology*, 98, 181-189.
- Slinkard, K., Singleton, V.L., (1977). Total phenol analyses: Automation and comparison with manual methods. *American Journal of Enology and Viticulture*, 28, 49-55
- TUİK, (2018). Türkiye’de Kavun yetiştiriciliği ve Kavun üretim miktarları, (27.08.2018), [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1001](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001).
- TUİK, (2023). Türkiye’de Kavun yetiştiriciliği ve Kavun üretim miktarları, (25.04.2024), [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1556](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1556).
- Wahle, K.W.J., Heys, S.D., Rotondo, D. (2015). *Authorized EU Health Claims for the Essential Fatty Acids: n-6 Linoleic (18:2n-6) and n-3 a-Linolenic (18:3n-3) Acids*. In: Sadler, M., Ed. *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims*: Woodhead Publishing, Cambridge, UK.
- Vega-Galvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., Lopez, J., and Perez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, color and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4), 647-653.
- Vinha, A.F., Ferreres, F., Silva, B.M., Valentao, P., Gonçalves, A., Pereira, J.A., Andrade, P.B. (2005). Phenolic profiles of Portuguese olive fruits (*Olea europaea* L.): Influences of cultivar and geographical origin. *Food Chemistry*, 89(4), 561-568.
- Yılmaz, N., Kaya, N., Pınar, H., Hancı, F., and Uzun, A. (2021). Detailed morphological and molecular characterizations of melon (*Cucumis melo* L.) accessions collected from Northern Cyprus and Turkey. *Horticultural Science and Technology*, 39,471-481
- Zia, S., Moazzam, R.K., Muhammad, Z.S., and Rana, M.A. (2021). An update on functional, nutraceutical and industrial applications of watermelon by-products: A comprehensive review. *Trends in Food Science and Technology*, 114, 275-291.

## **Endemik *Onosma nana* DC.'nin Kimyasal Bileşimi, Antimikrobiyal, Antioksidan ve Enzim İnhibisyon Aktivitesinin Araştırılması**

Kadriye ÖZCAN<sup>1\*</sup> , Tuba ACET<sup>2</sup> 

### **Öz**

Türkçe adı “Emzik otu” olarak bilinen *Onosma* türleri, etnobotanik açıdan oldukça değerlidir. Bu çalışmada, *Onosma nana*'nın toprak üstü ve kök kısımlarının farklı çözücülerle (etanol, metanol ve etil asetat) elde edilen ekstralarının antioksidan, antimikrobiyal, enzim inhibisyon ( $\alpha$ -amilaz,  $\alpha$ -glukozidaz ve tirozidaz) ve DNA koruyucu aktivitesi ile fenolik bileşen analizinin (HPLC) yapılması amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, etanol ekstralarının diğer ekstralara nazaran araştırılan özellikler bakımından daha etkin olduğu bulunmuştur. Etanol ekstralarının major fenolik bileşeni rosmarinik asit (kök: 2883.3  $\mu\text{g/g}$  ekstre, toprak üstü: 11187.5  $\mu\text{g/g}$  ekstre) olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak, bitkinin oldukça etkili antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu bulunmuştur (*S. epidermidis* ve *P. vulgaris*: MİK 32 $\mu\text{g/mL}$ ). Bitkinin DNA koruyucu etkisi ve antimikrobiyal özellikleri ilk defa araştırılmıştır. Bitkinin doğal bir ajan olarak kullanıma potansiyeli olduğu söylenebilir. Bunun yanısıra, tespit edilen aktivite için detaylı çalışmalarla desteklenerek etki mekanizmalarının aydınlatılması ticari önemini anlaşılması bakımından gereklidir.

**Anahtar Kelimeler:** Antimikrobiyal, Enzim inhibisyon, Antioksidan, Fenolik içerik, *Onosma nana*, HPLC.

## **Investigation of Chemical Composition, Antimicrobial, Antioxidant and Enzyme Inhibition Activity of Endemic *Onosma nana* DC.**

### **Abstract**

*Onosma* species, known as “Emzik otu” in Turkish, are very valuable in terms of ethnobotany. In this study, it was aimed to analyze the antioxidant, antimicrobial, enzyme inhibition ( $\alpha$ -amylase,  $\alpha$ -glucosidase and tyrosidase) and DNA protective activities and phenolic compounds (HPLC) of the extracts obtained from the aboveground and root parts of *Onosma nana* with different solvents (ethanol, methanol and ethyl acetate). According to the results obtained, ethanol extracts were found to be more effective than other extracts in terms of the investigated properties. The major phenolic component of ethanol extracts was rosmarinic acid (root: 2883.3  $\mu\text{g/g}$  extract, aboveground: 11187.5  $\mu\text{g/g}$  extract). As a result, the plant was found to have highly effective antimicrobial activity (*S. epidermidis* and *P. vulgaris*: MIC 32 $\mu\text{g/mL}$ ). The DNA protective effect and antimicrobial properties of the plant have been investigated for the first time. It can be said that the plant has the potential to be used as a natural agent. In addition, it is necessary to elucidate the mechanisms of action by supporting the detected activities with detailed studies in order to understand its commercial importance.

**Keywords:** Antimicrobial, Enzyme inhibition, Antioxidant, Phenolic content, *Onosma nana*, HPLC.

<sup>1</sup>Giresun Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü, Giresun, Türkiye, kadriye.ozcan@giresun.edu.tr

<sup>2</sup>Gümüşhane Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye, tubaacet@hotmail.com.tr

\*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

**Geliş/Received:** 23.04.2024

**Kabul/Accepted:** 05.06.2024

**Yayın/Published:** 18.06.2024

## 1. Giriş

*Onosma* L. (Lithospermae, Boraginaceae) dünyada 200'ün üzerinde türe sahip oldukça büyük bir cinistir. *Onosma* türleri, Türkiye ve İran başta olmak üzere dünya genelinde yayılış göstermektedirler (Jabbar ve ark., 2022). Türkiye 57'si endemik olmak üzere yaklaşık 105 tür (110 takson) içermektedir ve *Onosma* için önemli bir orijin merkezidir (Güner ve ark., 2012; Koyuncu et al., 2013; Binzet ve ark. 2018). *Onosma* türlerinin etnobotanik açıdan değerli olduğu bilinmektedir (Kumar ve ark., 2013). Yapılan çalışmalarda *Onosma* türlerinin farklı kısımlarının, antioksidan (Sarikurkcu ve ark., 2022), antimikrobiyal (Ahmad ve ark., 2009; Özgen ve ark., 2003; Ünal ve ark., 2023), sakinleştirici (Shilov ve ark., 2022); antiinflamatuvar (Hashemi ve ark., 2021), mide rahatsızlıkları, antitrombotik (Kundaković ve ark., 2006), yara iyileştirici (Çalhan ve Gündoğan, 2019); Alzheimer ve Diyabet (Sarikurkcu ve ark., 2020), enzim inhibitörü (Katanić Stanković ve ark., 2020), anti-tümör (Jabbar, 2021); COVID-19 tedavi edici (Kilinç, 2021) gibi pek çok tıbbi özelliğe sahip olduğu ortaya konmuştur. *Onosma* cinsi bitkilerin sahip oldukları çeşitli fitokimyasallar sayesinde bu biyolojik aktiviteleri sergilediği belirtilmiştir (Kumar ve ark., 2013). *Onosma* türleri ülkemizde geleneksel halk tıbbında da çeşitli şekillerde sıklıkla kullanılmaktadır (Ünal ve ark., 2023). Bu yüzden, *Onosma* türlerinin biyolojik aktivitelerinin ve özellikle doğru kullanım şekillerinin ortaya konulması önem arz etmektedir.

Günümüzde yoğun iş temposu, çevresel kirlilikler, gıda katkı maddeleri vb. artan stres faktörlerine bağlı olarak insan bünyesindeki reaktif oksijen türleri (ROS) artmaktadır (Maldonado ve ark., 2023). Bu da canlılar üzerinde oksidatif bir strese neden olarak, erken yaşlanma, diyabet, alzheimer, kanser ve immün sistem bozuklukları gibi pek çok metabolik hastalıklara sebebiyet vermektedir (Fahmy ve ark., 2024). Bu yüzden, reaktif oksijen türlerini temizleyebilen doğal antioksidan maddelere ihtiyaç duyulmaktadır (Acet ve ark., 2020). Diğer taraftan, patojen mikroorganizmalar günümüzde daha dirençli hale gelmiştir ve bunlarla başa çıkabilmek giderek güçleşmiştir. Kullanılan antibiyotikler de normal insan florasına zarar vererek, pek çok olumsuz etkiye neden olmaktadır (Keeney ve ark., 2014). Bu bakımdan, daha ekonomik, erişilebilir, yeni doğal ürünlerin keşfedilmesi gerekmektedir. Ki, asırlardır yerel halk tıbbında kullanılan bitkiler bu ihtiyacın giderilmesi noktasında bilim insanlarına ilham kaynağı olmaktadır. Literatürde, son yıllarda *Onosma* türleri üzerine kapsamlı çalışmalar olsa da (Wang ve ark., 2024; Zeljković ve ark., 2023; Safavi ve ark., 2023), mevcut araştırma konusu *Onosma nana* DC. (Tavşangözü) türü üzerine yapılmış kısıtlı çalışma bulunmaktadır (Kirkan ve ark., 2023). Türkiye endemiği olarak bilinen *O. nana*, Anadolu'da O. Karadeniz, O. Kızılırmak ve Y. Fırat Bölgeleri ile Akdeniz Bölgesini içine alan geniş bir yayılış alanına sahip olup (Güner ve ark., 2012), bu çalışma ile türün Gümüşhane ilinde yayılış gösteren bitki örnekleri biyokimyasal içerik ve biyolojik aktivite yönünden ilk kez değerlendirilmiştir. Bu bölge,

sahip olduğu iklimsel ve coğrafi özellikler nedeniyle oldukça özeldir ve buradan toplanan bitkilerin farmakolojik özelliklerinin aydınlatılması önem arz etmektedir. Çünkü, bitkiler bu zorlu şartlarda hayatta kalabilmek için sekonder metabolit içeriğini değiştirmektedir (Qaderi ve ark., 2023). Bitki sekonder metabolitleri ve türevlerinin, eski çağlardan beri çok sayıda hastalık ve rahatsızlığın tedavisinde terapötik ajanlar olarak kullanıldığı bilinmektedir (Özcan, 2020; Elshafie ve ark., 2023). Bununla ilişkili olarak, Gümüşhane'den toplanan bitkilerin diğer bölgelere nazaran daha yüksek bir biyolojik aktiviteye sahip olacağı, mevcut çalışmanın hipotezini oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, Gümüşhane ilinde etnobotanik açıdan oldukça değerli olan endemik *O. nana* bitkisinin toprak üstü ve kök kısımlarının farklı çözücüler (etanol, metanol ve etil asetat) kullanılarak elde edilmiş olan ekstralarının:

- a- toplam fenolik ve flavonoid içeriğinin,
- b- Antioksidan (ABTS, DPPH) ve antimikrobiyal (MİK) aktivitesinin,
- c- Enzim inhibisyon ( $\alpha$ -amilaz,  $\alpha$ -glukozidaz ve tirozinaz) aktivitesinin,
- d- DNA koruyucu aktivitesinin,
- e- Fenolik madde içeriğinin (HPLC) aydınlatılması amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Bitkilerin eldesi

Çalışmada Türkçe adı Tavşangözü olan endemik *O. nana* türüne ait bitki örnekleri kullanılmıştır. Bitkiler çiçeklenme döneminde (Ağustos-2019) 3200 m yükseklikten Gümüşhane ili Kelkit ilçesi sınırları içinde toplanmıştır. Bitkinin TAK1901 koduyla herbaryum kaydı yapılmıştır. Bitkiler doğrudan güneş ışığına maruz bırakılmadan gölgede kurutulmuştur.

### 2.2. Bitki ekstralarının elde edilmesi

Bitki ekstralarının eldesi için öncelikle kuru bitkilerin kök ve toprak üstü kısımları mekanik öğütücü (Fristsch) kullanılarak toz haline getirilmiştir. Ekstraksiyon etanol, metanol ve etil asetat çözücülerini kullanılarak yapılmıştır. Bu işlem için 5 g bitki kısımları 100 mL çözücü ile 37°C, 125 rpm'de 8 saat muamele edilmiştir. Süre sonunda filtre yardımıyla bitki kısımları süzülmesi ve evaporatör yardımıyla süzüntüden çözücüler uzaklaştırılmıştır. Elde edilen ekstralar çalışmalarda kullanılmak üzere -20°C'de muhafaza edilmiştir (Acet ve ark., 2020).

## 2.2. Toplam Fenolik ve Flovanoid Tayini

Ekstrelerin toplam fenolik madde içeriği mikropalakalar kullanılarak spektrofotometrik olarak belirlenmiştir. Reaksiyon, ekstre solüsyonu, folin reaktifi ve sodyum karbonat ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) eklenerek toplamda 250  $\mu\text{L}$  hacimde gerçekleştirilmiştir. Karışım 37 °C'de 2 saat inkübe edildikten sonra 750 nm dalga boyunda mikropalaka okuyucu kullanılarak ölçümü yapılmıştır. Toplam fenolik madde miktarı, gallik asit eşdeğeri (mg GAE/g ekstre) olarak hesaplanmıştır (Bozkır ve ark., 2022).

Ekstrelerin toplam flavonoid içeriğini belirlemek için  $\text{AlCl}_3$  (Alüminyum klorür) kolorimetrik yöntemi kullanılmıştır. 30  $\mu\text{L}$  bitki ekstreleri üzerine sırasıyla 80  $\mu\text{L}$  metanol, 6  $\mu\text{L}$  %10'luk alüminyum klorür, 6  $\mu\text{L}$  1 mol potasyum asetat eklenip hacim saf su 250  $\mu\text{L}$  ye tamamlanmıştır. Karışım oda sıcaklığında ve karanlıkta 30 dakika bekletildikten sonra 415 nm dalga boyunda mikropalaka okuyucu kullanılarak ölçümü yapılmıştır. Sonuçlar kuersetin eşdeğeri (mg QE/g ekstre) olarak hesaplanmıştır (Özcan, 2020).

## 2.3. Antioksidan aktivite

Ekstrelerin ABTS [(2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolin-6-sülfonik asit)] radikalini süpürme etkinliği Re ve ark. (1998) tarafından geliştirilen yöntem üzerinde değişiklikler yapılarak belirlenmiştir. 80  $\mu\text{L}$  örnek 160  $\mu\text{L}$  ABTS ile muamele edilip 6 dakika beklenmiş ve 750 nm'de spektrofotometrede ölçümü yapılmıştır. Sonuçlar troloks eşdeğeri (mg TE/g ekstre) olarak hesaplanmıştır.

Ekstrelerin DPPH (2,2-difenil-1- pikrilhidrazil) radikalini süpürme etkinliği Brand-Williams ve ark. (1995) tarafından geliştirilen yöntem üzerinde değişiklikler yapılarak belirlenmiştir. 125  $\mu\text{L}$  ekstre çözültisi üzerine 125  $\mu\text{L}$  DPPH eklenmiş ve 45 dakika oda sıcaklığında bekletilerek 490 nm'de ölçüm yapılmıştır. Sonuçlar troloks eşdeğeri (mg TE/g ekstre) olarak hesaplanmıştır.

## 2.4. Enzim inhibisyonu ( $\alpha$ -amilaz, $\alpha$ -glukozidaz ve tirozinaz)

Bitki ekstraktlarının  $\alpha$ -glukozidaz inhibisyon etkileri Acet ark. (2020) tarafından modifiye edilen yöntem kullanılarak belirlenmiştir,  $\alpha$ -amilaz inhibitör aktivitesinin saptanması için iyot/potasyum iyodür (IKI) yöntemi tercih edilmiştir. Her iki yöntemde de reaksiyonlar 96 kuyucuklu plakalarda test edilmiştir. Absorbans değerleri  $\alpha$ -glukozidaz ve  $\alpha$ -amilaz enzim inhibisyon aktiviteleri için sırasıyla 400 nm ve 630 nm'de belirlenmiştir. Sonuçlar, her iki yöntem için akarboz eşdeğeri (mmol/g ekstre) olarak ifade edilmiştir.

Tirozinaz inhibe edici aktivite Sarıkürkçü ve Zengin (2020)' deki yöntem kullanılarak belirlenmiştir, substrat olarak L-DOPA kullanılmıştır. Öncelikle 25 µL ekstre, mikropalakada 40 µL tirozinaz solüsyonu ve 100 µL pH 6.8 fosfat tamponu ile karıştırılmıştır. 15 dakika süreyle 25°C'de inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda 10 mM, 40 µL L-DOPA ilave edilerek reaksiyon başlatılmıştır. Benzer şekilde, enzim (tirozinaz) çözeltisi içermeyen tüm reaksiyon reaktiflerine numune çözeltisi eklenerek bir kör hazırlanmıştır. Numune ve boş absorbanslar, 25°C'de 10 dakikalık bir inkübasyondan sonra 492 nm'de okunmuştur. Kör numunenin absorbansı numunenin absorbansından çıkarılmış ve tirozinaz inhibe edici aktivite, kojic asit eşdeğerleri olarak ifade edilmiştir.

## 2.5. Antimikrobiyal aktivite

Bitki ekstralarının antimikrobiyal etkinliği disk difüzyon ve mikrodilüsyon yöntemleri ile belirlenmiştir. Test mikroorganizmaları olarak standart suşlar *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Bacillus cereus* RSKK 709, *Listeria monocytogenes* ATCC 33090, MRSA ATCC 43300, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, *Vibrio parahaemolyticus* ATCC 17802, *Escherichia coli* ATCC 29998, *Proteus vulgaris* ATCC 13315, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Salmonella typhimurium* CCM 5445, *Candida tropicalis* NRLL YB-366 tercih edilmiştir.

Her iki yöntemde ilk olarak mikroorganizmalar Muller-Hinton sıvısında taze kültür olarak hazırlanmış ve 0.5 MacFarland bulanıklığına seyreltilmiştir. Disk difüzyon testinde hazırlanan mikroorganizmalar Müller-Hinton agar yüzeyine inoküle edilmiştir. Sonrasında petri üzerine yerleştirilen disklere 20 µl ekstre (10 mg/mL) uygulanmıştır. 37°C'de 48 saat inkübasyon sonunda diskler çevresinde oluşan zon çapları ölçülmüştür. Mikrodilüsyon testi ekstraların minimum inhibisyon konsantrasyonlarını (MİK değeri) belirlemek için yapılmıştır (CLSI, 2017). İşlem için mikropalakalarda ekstraların seri dilüsyonları yapılmış ve kuyucuklara ilgili mikroorganizmaların inokülasyonu gerçekleştirilmiştir. Mikropalakalar 37°C'de 48 saat inkübasyona bırakılmış ve inkübasyon sonunda mikrobiyal büyümenin olmadığı kuyucuğun konsantrasyonu ekstranın o mikroorganizmaya karşı MİK değeri olarak belirlenmiştir (Özcan, 2019).

## 2.6. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi (HPLC) ile Fenolik bileşen analizi

Fenolik bileşen analizi, en yüksek toplam fenolik madde içeriğine sahip olan metanol özütü kullanılarak Acet ve ark. (2020)'a göre gerçekleştirilmiştir. Analizde, gallik asit, prokateşik asit, kateşin, epikateşin, syringic asit, hesperidin, rosmarinic asit, eriodictiol, luteolin, kaemferol, apigenin, kuersetin, rutin, kafeik asit, klorojenik asit, p-kumarik asit, p-hidroksibenzoik asit, benzoik

asit, o-kumarik asit, ferulik asit, cinnamik asit, sinapinik asit ve vanillin fenolik bileşiklerinin miktarları  $\mu\text{g/g}$  ekstre olarak verilmiştir.

## 2.7. DNA koruyucu aktivite

Bitki ekstralarının pUC19 plazmiti üzerine koruyucu aktivitesinin varlığı fenton reaktifi ile %1'lik agaroz jel elektroforezinde belirlenmiştir (Bozkır ve ark., 2022). Sırasıyla deney tüplerine 6  $\mu\text{L}$  ultra saf su, 5  $\mu\text{L}$  yumru örneği, 3  $\mu\text{L}$  pUC19 plazmit DNA ve son olarak 5  $\mu\text{L}$  fenton reaktifi eklenmiştir. 37°C sıcaklıkta 30 dk inkübe edilen karışım yükleme boyasıyla muamele edilmesinin ardından 10  $\mu\text{L}$  elektroforez kuyucuklarına yüklenerek ve 90 Volta 1 saat süreyle yürütülmüştür. Jel UV ışık altında görünür hale getirilerek sonuçlar negatif ve pozitif kontrollere kıyasla değerlendirilmiştir.

## 2.8. İstatistiksel analizler

Tüm deneyler 3 tekrarlı gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar SPSS (version 11.5 for Windows 2000, SPSS Inc.) programında, One-way ANOVA ile hesaplanmış ve önemli farklılıklar Duncan'ın çoklu sıra testleri ile belirlenip,  $p < 0.05$  değerleri anlamlı olarak kabul edilmiştir.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, Kelkit (Gümüşhane) ilçesinden toplanan *O. nana* kök ve topraküstü kısımlarının üç çözücü ile (etanol, metanol, etil asetat) ekstraksiyonu yapılmıştır. Ekstrelerin toplam fenolik ve flavonoid miktarları spektrofotometrik ölçümlerle belirlenmiş ve sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre, toprak üstü etanol ekstresinin fenolik miktarı diğer ekstralardan anlamlı derecede yüksek bulunmuştur. Bununla birlikte toprak üstü etil asetat ekstresinin flavonoid miktarı diğer ekstralere nazaran anlamlı derecede yüksek tespit edilmiştir. Ekstreler arasındaki bu farklılığın çözücülerden kaynaklandığı görülmektedir.



**Tablo 1.** Ekstrelerin toplam fenolik ve flavonoid içerikleri

Bitki kısımları	Ekstreler	Toplam Fenolik (mg GAE/g ekstre)	Toplam Flavonoid (mg QUE/g ekstre)
Toprak üstü	Etanol	35.09±0.31 <sup>a</sup>	20.43±0.85 <sup>d</sup>
	Metanol	34.43±0.09 <sup>b</sup>	23.29±0.98 <sup>c</sup>
	Etil asetat	28.11±0.19 <sup>c</sup>	70.10±0.52 <sup>a</sup>
Kök	Etanol	28.54±0.42 <sup>c</sup>	19.13±0.71 <sup>d</sup>
	Metanol	28.51±0.75 <sup>c</sup>	8.16±0.13 <sup>e</sup>
	Etil asetat	26.86±0.53 <sup>d</sup>	53.87±0.26 <sup>b</sup>

<sup>a-c</sup>:Her sütunda yer alan verilerin istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı ( $p<0.05$ ) olduğunu ifade etmektedir.

*Onosma* türleri ile yapılan çalışmalarda toplam fenolik ve flavonoid miktarlarının benzer olduğu rapor edilmiştir. Kirkan ve ark., (2023) Niğde civarından topladıkları *O. nana* toprak üstü kısımlarının metanol ekstresinin toplam fenolik içeriğini 44.63 mg GAE/g ekstre, toplam flavonoid içeriğini ise 27.86 mg QUE/g ekstre olarak rapor etmişlerdir. Mevcut çalışmadan elde edilen bulgulardaki minör sapmaların bitkinin yetiştiği koşullardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Gümüşhane ili Karadeniz-Doğu Anadolu geçiş bölgesinde olması sebebiyle farklı iklimsel koşulları barındırmaktadır. Bu durumun da bitkilerin sekonder metabolizmasını etkilediği düşünülmektedir.

Ekstrelerin antioksidan özellikleri ABTS ve DPPH yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Her iki yöntemde de en yüksek antioksidan özellik kök ve toprak üstü kısımlarının etanol ekstresinde tespit edilmiştir. Aynı bitkinin toprak üstü metanol ekstresinin benzer yöntemler kullanıldığında, istatistiksel olarak farklılık içermediği görülürken (Kirkan ve ark., 2023); tablo 2’de verildiği gibi mevcut çalışmada ABTS ve DPPH sonuçları istatistiksel olarak farklıdır. Bununla birlikte, etanol ekstresinin hem toprak üstü hem de kök kısımlarında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kirkan ve ark. (2023) yapmış oldukları çalışmada, *O. nana*’nın DPPH ve ABTS serbest radikalleri süpürme aktivitesi sırasıyla 229,98 ve 243,58 mg TAE/g ekstre olarak bulunmuştur. Diğer taraftan, *O. microcarpum*’un DPPH ve ABTS aktivitesi, 70 ve 130 mg TAE/g ekstre olarak rapor edilmiştir. Buna göre, mevcut çalışmadan elde edilen sonuçların daha düşük kaldığı görülmektedir. Yakın türlerle yapılan çalışmalarda farklı çözücü ve yöntemlerle elde edilen ekstrelerin antioksidan aktiviteler sergilediği rapor edilmiştir (Zeljkočić ve ark., 2023; Sarıkürkçü ve ark., 2018; Tosun ve ark., 2008).

**Tablo 2.** Ekstrelerin antioksidan kapasitesi

Bitki kısımları	Ekstreler	ABTS (mg TAE/g extract)	DPPH (mg TAE/g extract)
Toprak üstü	Etanol	78.81±2.84 <sup>a</sup>	20.13±0.22 <sup>b</sup>
	Metanol	47.69±1.76 <sup>d</sup>	16.56±0.05 <sup>c</sup>
	Etil asetat	25.30±2.35 <sup>e</sup>	3.25±0.34 <sup>f</sup>
Kök	Etanol	60.62±1.65 <sup>b</sup>	22.64±0.17 <sup>a</sup>
	Metanol	57.26±1.32 <sup>c</sup>	14.94±0.81 <sup>d</sup>
	Etil asetat	46.78±0.55 <sup>d</sup>	7.76±0.86 <sup>e</sup>

<sup>a-f</sup>:Her sütunda yer alan verilerin istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı ( $p<0.05$ ) olduğunu ifade etmektedir

Antimikrobiyal aktivite disk difüzyon ve mikrodilüsyon yöntemiyle belirlenmiştir. Testte 1 maya, 5 Gram (+) ve 5 Gram (-) bakteri kullanılmıştır. Tablo 3 ve 4' te görüldüğü üzere ekstreler test organizmalarına karşı etkili bir aktivite sergilemiştir. En etkili sonuçlar toprak üstü ekstrelerinde *S. epidermidis* ve *P. vulgaris*'e (32µg/mL) karşı gözlenmiştir (Tablo 4). Ayrıca bitkinin toprak üstü ekstrelerinin ökaryotik *C. tropicalis*'e karşı da etkili olduğu tespit edilmiştir. Bitkinin antimikrobiyal aktivitesi ilk defa araştırılmıştır. Elde edilen veriler, bu bitki ekstrelerinin etkili bir antimikrobiyal ajan olarak kullanılma potansiyeli olduğunu göstermektedir. Ünal ve ark. (2023) *Onosma halophila* Boiss. & Heldr. üzerine yaptıkları bir araştırmada, bitkinin etanol, metanol, etil asetat ve petrol eteri ekstrelerinin 8 mikroorganizmaya karşı MİK değerleri 15.625 ile 125 µg/mL aralığında bulunmuştur. Bununla birlikte, en yüksek antimikrobiyal etkinliğin etil asetat ekstresinde *C. parapsilosis*'e karşı olduğu tespit edilmiştir. Yapılan farklı bir araştırmada *O. sericea* and *O. stenoloba* metanol ekstrelerinin test edilen sekiz bakteri suşuna karşı antimikrobiyal aktivitesinin MİK 0,25-10 mg/mL aralığında olduğu bildirilmiştir (Stanković ve ark., 2020). Bu bağlamda çalışmamızda kullanılan bitki ekstrelerinin yakın türlere kıyasla oldukça etkili antimikrobiyal aktivite sergiledikleri belirlenmiştir. Dolayısı ile bitkinin antimikrobiyal etkinliğinin, yetiştiği koşullar ve ekstraksiyon metodundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bitki ekstrelerinin DNA koruyucu aktivitesi pUC19 plazmiti üzerine fenton reaktifi ile hasar oluşturularak belirlenmiştir. Farklı konsantrasyonlarla (1-5-10-20 ve 40 mg/mL ekstre) yapılan denemelerde bitki ekstrelerinin oluşturulan DNA hasarını iyileştirdiği yönünde bir etkisi saptanmamıştır. Bitkinin DNA koruyucu aktivitesi ilk kez araştırılmıştır. Bununla birlikte *O. sericea* and *O. stenoloba* metanol ekstrelerinin ringa balığı sperm DNA (tek zincir)'sı üzerine dozaja bağlı koruyucu aktivite sergilediği rapor edilmiştir (Stanković ve ark., 2020).

Diyabet çağımızın en sık rastlanan hastalıklarından bir tanesidir (Sun ve ark., 2022). Bu rahatsızlığın yönetilmesinde, şeker metabolizmasında anahtar rol oynayan  $\alpha$ -amilaz ve  $\alpha$ -glukozidaz enzimlerinin inhibisyonu, kan şekerini normal düzeye getirebilmek için, kullanılan uygulamaların başında gelmektedir (Jaradat ve ark., 2022). Bitki ekstrelerinin diyabetin kontrolünde anahtar

enzimler olan  $\alpha$ -amilaz ve  $\alpha$ -glukozidaz inhibisyonu etkisi araştırılmış ve sırasıyla 129.25-179.69 mmol ve 14.65-15.81 mmol aralıklarında olduğu tespit edilmiştir. Literatüre bakıldığında, *Onosma* türlerinin antidiyabetik etkisinin bulunduğu yönünde deliller bulunmaktadır (Sarıkurku ve ark., 2020; Kumar ve ark., 2013). Özellikle, *O. nana*'nın metanol ekstresinin  $\alpha$ -amilaz ve  $\alpha$ -glukozidaz inhibisyon aktivitesinin olduğu rapor edilmiştir (Kirkan ve ark., 2023).

Tirozinaz deride pigmentasyona sebebiyet veren bir enzimdir (Bozkır ve ark., 2022). Dolayısı ile tirozinaz enziminin inhibisyonu melanin üretiminin engellenmesi anlamına gelmektedir. Yani cilt beyazlatma işlemlerinde veya tedavilerinde kullanılabilir ürünlerde kullanılmak için tirozinaz inhibitörü bileşiklere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada da bitkinin tirozinaz enzim inhibisyon aktivitesi araştırılmış ve kök etil asetat ekstresinin diğer eksterelere nazaran yüksek aktiviteye sahip olduğu ortaya çıkarılmıştır. Yapılan diğer çalışmalarda da, *Onosma* türlerinin tirozinaz aktivitesine sahip olduğu bildirilmiştir (Kirkan ve ark., 2023; Jabbar ve ark., 2022).

Bitkinin daha önce bahsedilen özellikler bakımından en etkili oldukları gözlemlenen kök ve toprak üstü etanol ekstrelerinin fenolik bileşen analizleri HPLC ile 23 standart fenolik bileşen taranarak yapılmıştır. Her iki ekstrede de majör bileşen rosmarinik asit olarak belirlenmiştir. Yapılan diğer çalışmalara bakıldığında, *O. heterophyllum* Griseb. (Özer ve ark., 2018), *O. ambigens* Lacaita (Sarıkürkçü ve ark., 2020) ve *O. pulchra* Riedl'nin de (Sarıkürkçü ve ark., 2020) majör bileşeninin rosmarinik asit olduğu görülmektedir. Ayrıca, bu bitkilerin benzer aktiviteler de sergilediği ortaya konulmuştur. Kirkan ve ark., (2023) *O. nana* metanol ekstresinin majör bileşeninin rosmarinik asit (2846  $\mu\text{g/g}$ ) olduğunu rapor etmişlerdir. Bu çalışmada ise *O. nana* kök ve toprak üstü etanol ekstrelerinde bulunan rosmarinik asit, sırasıyla 2883,3 ve 11187,5  $\mu\text{g/g}$  olarak bulunmuştur. Ekstrelerde bulunan diğer majör bileşen ise klorojenik asittir. Literatüre bakıldığında, rosmarinik asit ve klorojenik asitin antioksidan, antiinflamatuvar, antikanserojen, antinörodejeneratif, antihipertansif ve antimikrobiyal özellikler sergilediği yönünde çalışmalar mevcuttur (Noor ve ark., 2022; Wang ve ark., 2022). Bu sebeple, tespit edilen aktivitelerin bu majör bileşenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Diğer taraftan, minör bileşenlerin de söz konusu aktivitelere katkı sağlaması muhtemeldir.

**Tablo 3.** Ekstrelerin enzim inhibisyon kapasiteleri

Bitki kısımları	Ekstreler	$\alpha$ -amilaz (mmol)	$\alpha$ -glukozidaz (mmol)	Tirozinaz (mg BAE/g extract)
Toprak üstü	Etanol	159.1413±1.34 <sup>b</sup>	15.2313±0.014 <sup>c</sup>	192.90±1.50 <sup>b</sup>
	Metanol	157.2443±2.28 <sup>c</sup>	15.1167±0.023 <sup>d</sup>	194.07±2.67 <sup>b</sup>
	Etil asetat	179.6980±1.34 <sup>a</sup>	15.1597±0.014 <sup>d</sup>	153.90±3.17 <sup>c</sup>
Kök	Etanol	157.0850±0.55 <sup>c</sup>	14.6540±0.009 <sup>e</sup>	225.73±3.34 <sup>a</sup>
	Metanol	154.3970±1.02 <sup>d</sup>	15.5760±0.000 <sup>b</sup>	135.73±2.00 <sup>d</sup>
	Etil asetat	129.2557±2.7 <sup>e</sup>	15.8180±0.018 <sup>a</sup>	135.07±1.67 <sup>d</sup>

<sup>a-c</sup>:Her sütunda yer alan verilerin istatistiksel olarak anlamlı derecede farklı ( $p<0.05$ ) olduğunu ifade etmektedir

**Tablo 4.** Ekstrelerin disk difüzyon zon ölçümleri (mm)

Bitki kısımları	Kök			Toprak üstü			Antibiyotik
	Etanol	Metanol	Etil asetat	Etanol	Metanol	Etil asetat	
Ekstreler							Gentamisin
<b>Gram (+)</b>							
<i>E. faecalis</i>	-	-	-	-	-	-	18
<i>B. cereus</i>	10	10	-	10	10	-	25
<i>L.monocytogenes</i>	-	-	-	12	10	-	23
MRSA	-	-	-	-	-	10	25
<i>S. epidermidis</i>	-	-	-	13	12	13	28
<b>Gram (-)</b>							
<i>V.parahaemolyticus</i>	-	-	-	-	-	-	-
<i>E. coli</i>	-	-	10	-	-	-	-
<i>P. vulgaris</i>	10	9	-	12	-	11	-
<i>P. aeruginosa</i>	-	-	-	10	-	10	26
<i>S. typhimurium</i>	-	-	-	-	-	-	28
<b>Maya</b>							
<i>C.tropicalis</i>	-	-	-	-	-	13	-

**Tablo 5.** Ekstrelerin minimum inhibisyon konsantrasyonları ( $\mu\text{g/mL}$ )

Bitki kısımları	Kök			Toprak üstü		
	Etanol	Metanol	Etil asetat	Etanol	Metanol	Etil asetat
Ekstre						
<b>Gram (+)</b>						
<i>E. faecalis</i>	-	-	64	-	-	64
<i>B. cereus</i>	128	-	128	128	128	128
<i>L. monocytogenes</i>	-	-	-	64	-	-
MRSA	128	-	-	-	128	-
<i>S.epidermidis</i>	64	128	64	32	32	32
<b>Gram (-)</b>						
<i>V. parahaemolyticus</i>	128	-	128	-	-	128
<i>E. coli</i>	-	-	-	64	-	-
<i>P. vulgaris</i>	64	-	64	32	-	64
<i>P. aeruginasa</i>	64	-	64	-	-	128
<b>Maya</b>						
<i>C. tropicalis</i>	-	-	-	64	-	128

**Tablo 6.** Kök ve toprak üstü etanol ekstrelerin fenolik bileşenleri

No	Fenolik bileşen ( $\mu\text{g/g}$ )	Kök	Toprak üstü
1	Gallik asit	te	te
2	Protokateşik asit	78.0	173.3
3	Kateşin	te	te
4	<i>p</i> -hidroksibenzoik asit	1038.4	306.9
5	Klorojenik asit	535.3	627.8
6	Kafeik asit	478.0	393.3
7	Epikateşin	te	te
8	Syringic asit	132.6	23.2
9	Vanilin	50.1	287.6
10	<i>p</i> -koumarik asit	159.5	58.2
11	Ferulik asit	227.1	te
12	Sinapinik asit	te	te
13	Benzoik asit	te	te
14	<i>o</i> -koumarik asit	te	te
15	Rutin	te	te
16	Hesperidin	te	te
17	Rosmarinik asit	2883.3	11187.5
18	Eriodictiol	te	te
19	Cinnamik asit	275.2	77.7
20	Kuersetin	te	te
21	Luteolin	te	150.1
22	Kaempferol	te	te
23	Apigenin	387.6	327.3

\*te:tespit edilmedi.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada Gümüşhane ilinden toplanan *O. nana* toprak üstü ve kök kısımlarına ait EtOH, MeOH ve EtOAc ekstralarının antioksidan, antimikrobiyal, enzim inhibisyon ve DNA koruyucu aktiviteleri ile fenolik içeriği aydınlatılmıştır. Bununla birlikte, bitkinin antimikrobiyal aktivitesi ve DNA koruyucu aktivitesi ilk defa rapor edilmiştir. Elde edilen bulgulara göre, etanol ekstralarının diğer ekstralara nazaran daha yüksek aktivitelere sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, etanol ekstralarının majör bileşenleri rosmarinik asit ve klorojenik asit olarak bulunmuştur. Genel olarak, bitkinin incelenen biyolojik aktiviteler bakımından kayda değer etkinliğinin olduğu belirlenmiştir. Söz konusu aktivitelerin, bitkinin sahip olduğu fenolik bileşenlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sonuç olarak, *O. nana*'nın doğal bir antioksidan, antimikrobiyal ve enzim inhibitörü olarak

kullanılma potansiyelinin olduğu söylenebilir. Ancak, söz konusu aktivitelerin ileri çalışmalarıyla da desteklenmesi, farmakolojik kullanımının ortaya çıkarılması bakımından yararlı olacaktır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (Proje no: FEN-BAP-A-240222-25) tarafından desteklenmiştir.

### **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

### **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

### **Kaynaklar**

- Acet, T., Ozcan, K., and Zengin, G. (2020). An assessment of phenolic profiles, fatty acid compositions, and biological activities of two Helichrysum species: *H. plicatum* and *H. chionophilum*. *Journal of Food Biochemistry*, 44, e13128.
- Ahmad, B., Ali, N., Bashir, S., Choudhary, M.I., Azam, S., and Khan, I. (2009). Parasiticidal, antifungal and antibacterial activities of *Onosma griffithii* Vatke. *African journal of Biotechnology*, 8, 5084-5087.
- Binzet R., Kandemir, I., and Orcan, N. (2018). Numerical taxonomic study of the genus *Onosma* L. (Boraginaceae) from eastern mediterranean region in Turkey. *Pakistan Journal of Botany*, 50(2), 561-573.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., and Berset, C. (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Food Science and Technology*, 28, 25-30.
- Bozkir, B., Acet, T., and Özcan, K. (2022). Investigation of the effects of different extraction methods on some biological activities of *Dactylorhiza romana* subsp. *georgica* (Klinge) Soó ex Renz & Taubenheim. *South African Journal of Botany*, 149, 347-354.
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), (2017). Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing; 27th Informational Supplement. CLSI/NCCLS, 27th ed.; Clinical and Laboratory Standards Institute: Wayne, PA, USA.
- Çalhan, D.S., and Gündogan, M. (2019). Evaluation of changes in the biological activity of *Onosma sericeum* Willd (Boraginaceae) based on collection time and extraction solvent, and determination of its mineral and trace element composition. *Journal of the Turkish Chemical Society, Section A: Chemistry*, 6, 355-364.

- Elshafie H.S, Camele I., and Mohamed, A.A. (2023). A Comprehensive Review on the Biological, Agricultural and Pharmaceutical Properties of Secondary Metabolites Based-Plant Origin. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3266.
- Fahmy, N., Fayez, S., Zengin, G., Selvi, S., Uba, A.I, Mollica, A., Bouyahya, A., Andriano, M., Abdelhakim, B., Ponniya, S., Nilofar, N., Lekmine, S., Claudio, F., and Eldahshan, O. (2024). Chemical exploration of different extracts from *Phytolacca americana* leaves and their potential utilization for global health problems: in silico and network pharmacology validation. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, DOI: 10.1080/07391102.2024.2308770
- Güner, A., Aslan, S., Ekim, T., Vural, M. ve Babaç, M.T. (2012). Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırmaları Derneği Yayınları, 1. Baskı, 234-240.
- Hashemi, M.M. Marjani, M., Poursharifi, N., and Marjani, A. (2021). Effects of *Onosma dichroanthum* Boiss. root extract on AGS human gastric cancer cell-line. *Journal of Basic and Clinical Physiology and Pharmacology*, 33(4), 487-492.
- Jabbar, A.A. (2021). *Onosma mutabilis*: Phytochemical composition, antioxidant, cytotoxicity, and acute oral toxicity. *Food Science Nutrition*, 9, 5755-5764.
- Jaradat, N., Khasati, A., Hawi, M., Hawash, M., Shekfeh, S., Qneibi, M., Eid, A.M., Arar, M. and Qaoud M.T. (2012) Antidiabetic, antioxidant, and anti-obesity effects of phenylthio-ethyl benzoate derivatives, and molecular docking study regarding  $\alpha$ -amylase enzyme. *Scientific Reports*, 12, 3108.
- Keeney, K.M., Yurist-Doutsch, S., Arrieta, M., and Finlay, B.B. (2014). Effects of Antibiotics on Human Microbiota and Subsequent Disease. *Annual Review of Microbiology*, 68(1), 217-235.
- Kilinc, N. (2021). Molecular Mechanisms of Possible Action of Naphthoquinones from *Onosma* in the Treatment and Prevention of COVID-19. *Caucasian Journal of Science*, 8, 173-185.
- Kirkan, B., Sarikurkcu, C., Binzet, R. and Tepe, B. (2023). Two *Onosma* Species (*Onosma microcarpum* and *O. nana*) as an Alternative Source of Multifunctional Agents: *Biological and Phytochemical Evaluation*, 13(1), 77.
- Koyuncu, O., Yaylacı, Ö.K., Kurtuluş, Ö., Sezer, O. and Öztürk, D. (2013). A new *Onosma* (Boraginaceae) species from Central Anatolia, Turkey. *Plant Systematics and Evolution*, 299, 1839–1847.
- Kundaković, T., Stanojković, T., Juranić, Z., and Kovačević, N. (2006). Cytotoxicity in vitro of naphthazarin derivatives from *Onosma arenaria*. *Phytotherapy Research*, 20(7), 602-604.
- Maldonado, E., Morales-Pison, S., Urbina, F., and Solari, A. (2023). Aging Hallmarks and the Role of Oxidative Stress, *Antioxidants*, 12(3), 651.
- Noor, S., Mohammad, T., Rub, M. A., Raza, A., Azum, N., Yadav, D. K., Hassan M.I., and Asiri, A.M. (2022). Biomedical features and therapeutic potential of rosmarinic acid. *Archives of Pharmacal Research*, 45(4), 205-228.
- Özcan, K. (2019). Artabel Gölleri (Gümüşhane) Sedimentlerinden İzole Edilen Aktinobakterilerin Antimikrobiyal Madde ve Endüstriyel Önemi Olan Enzimleri Üretim Kapasitelerinin Belirlenmesi. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(2), 166-173.
- Özcan, K. (2020). Antibacterial, antioxidant and enzyme inhibition activity capacities of *Doronicum macrolepis* (FREYN&SINT): An endemic plant from Turkey. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 28(1), 95-100.
- Özcan, T. (2010). Characterization of *Onosma bracteosum* Hausskn. & Bornm. and *Onosma thracicum* Velen. Based on Fatty Acid Compositions and  $\hat{\alpha}$ -Tocopherol Contents of the Seed Oils. *European Journal of Biology*, 68(2), 75-83.
- Özer, M.S., Kirkan, B., Sarikurkcu, C., Cengiz, M., Ceylan, O., Atilgan N. and Tepe, B. (2018). *Onosma heterophyllum*: Phenolic composition, enzyme inhibitory and antioxidant activities. *Industrial Crops and Products*, 111, 179–184.
- Özgen, U., Houghton, P.J., Ogundipe, Y., and Coşkun, M. (2003). Antioxidant and antimicrobial activities of *Onosma argentatum* and *Rubia peregrina*. *Fitoterapia*, 74, 682-685.
- Qaderi, M.M., Martel, A.B., and Strugnell, C.A. (2023). Environmental Factors Regulate Plant Secondary Metabolites. *Plants*. 12(3), 447.
- Safavi, F., Moridi Farimani, M., Golalipour, M., and Bayat, H. (2023). In vitro wound healing potential of cyclohexane extract of *Onosma dichroantha* Boiss. based on bioassay-guided fractionation. *Scientific Reports*, 13(1), 5018.
- Sarikurkcu, C., Kirkan, B., Ozer, M.S., Ceylan, O., Atilgan N., Cengiz, M. and Tepe, B. (2018). Chemical characterization and biological activity of *Onosma gigantea* extracts. *Industrial Crops and Products*, 115, 323–329.



- Sarikurkcu, C., Sahinler, S.S., Ceylan, O., and Tepe, B. (2020). *Onosma pulchra*: Phytochemical composition, antioxidant, skin-whitening and anti-diabetic activity. *Industrial Crops and Products*, 154, 112632.
- Sarikurkcu, C., Sahinler, S.S., Ceylan, O., and Tepe, B. (2020). *Onosma ambigens*: Phytochemical composition, antioxidant and enzyme inhibitory activity. *Industrial Crops and Products*, 154, 112651.
- Shilov, S.V., Ustenova, G.O., Kiyekbayeva, L.N., Korotetskiy, I.S., Kudashkina, N.V., Zubenko, N.V., Parenova, R.A., Jumagazyeva, A.B., Iskakbayeva, Z.A., and Kenesheva, S.T. (2022). Component Composition and Biological Activity of Various Extracts of *Onosma gmelinii* (Boraginaceae), *International Journal of Biomaterials*, 4427804.
- Sun, H., Saeedi P., Karuranga, S., Pinkepank, M., Ogurtsova, K., Duncan, B.B., Stein, C., Basit, A., Chan, J.C.N., Mbanya, J.C., Pavkov, M.E., Ramachandaran, A., Wild, S.H., James, S., Herman, W.H., Zhang, P., Bommer, C., Kuo, S., Boyko, E.J. and Magliano, D.J. (2022). IDF Diabetes Atlas: Global, regional and country-level diabetes prevalence estimates for 2021 and projections for 2045. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 183, 109119.
- Stanković, J.S.K., Ceylan, R., Zengin, G., Matić, S., Jurić, T., Diuzheva, A., Jeko, J., and Cziáky, Z. (2020). Abdurrahman Aktumsek, Multiple biological activities of two *Onosma* species (*O. sericea* and *O. stenoloba*) and HPLC-MS/MS characterization of their phytochemical composition. *Industrial Crops and Products*, 144, 112053.
- Tosun, A., Küpeli Akkol, E., Bahadır, Ö., Yesilada E. (2008). Evaluation of anti-inflammatory and antinociceptive activities of some *Onosma* L. species growing in Turkey. *Journal of Ethnopharmacology*, 120, 378–381
- Ünal, N., Kahraman, O., Dögen, A., Binzet, R. (2023). Investigation of the Chemical Composition, Antimicrobial, and Antioxidant Activity of Endemic *Onosma halophila* Boiss. & Heldr. *Current Microbiology*, 20,80(8),247.
- Wang, Z., Li, F., Aga, E.B., Liang, X., He, C., Yin, L., and Lv, C. (2024). *Pteroccephalodes hookeri-Onosma hookeri*' decoction protects against LPS-induced pulmonary inflammation via inhibiting TLR4/NF- $\kappa$ B signaling pathway. *Journal of Ethnopharmacology*, 318, 116918.
- Wang, L., Pan, X., Jiang, L., Chu, Y., Gao, S., Jiang, X., Zhang, Y., Chen, Y., Luo, S. and Peng, C. (2022). The biological activity mechanism of chlorogenic acid and its applications in food industry: A review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 943911.
- Zeljkić, S.C, Sahinler, S. S., Sarikurkcu, C., Kirkan, B., Binzet, R., and Tarkowski, P. (2023). Exploring the Pharmacological Potential of *Onosma riedliana*: Phenolic Compounds and Their Biological Activities. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1-7.

# KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

## YAZIM KURALLARI

Özet kısmında çalışmanın yenilikleri ve temel bulguları vurgulanmalıdır. Türkçe ve İngilizce özet kısımları Times New Roman yazı tipi ile yazılmalıdır ve 10 punto büyüklüğü seçilmelidir. Özet kısmının yazımında tek satır aralığı seçilmelidir. Makale özetinin en fazla 200 kelime olmasına dikkat edilmelidir. Türkçe ve İngilizce özetlerin 1 (bir) sayfayı geçmemesi önerilmektedir. Anahtar kelime sayısı en az 3 en fazla 6 olmalıdır.

Makalenin sayfa yapısı A4 kağıt boyutuna ve tüm kenar boşlukları 2 cm olmalıdır. Hem Türkçe hem de İngilizce başlıklar makale konusuna uygun, amacı ve sonucu anlatan, kısa ve yalın olmalıdır. Makale başlığı koyu, ilk harfleri büyük ve ortalanarak 14 punto Times New Roman fontu ile yazılmalıdır. Türkçe makalelerde İngilizce başlık, İngilizce özetten önce verilmelidir. Yazar isimleri kısaltılmadan soy isimler büyük harfle başlığın altına yan yana ortalanarak yazılır. Adreslerde kısaltma kullanılmamalıdır. Farklı adreslere sahip yazarlar için rakamlı üst indis kullanılmalıdır. İsimler Times New Roman 12 punto, düz; adresler ise Times New Roman 10 punto, düz olmalıdır. İsimlerden önce Ünvan yazılmamalıdır. Ayrıca sorumlu yazarın e-posta adresi 10 punto Times New Roman fontunda Sorumlu Yazar kısmına yazılmalıdır.

Ana metin 12 punto yazı büyüklüğünde Times New Roman yazı tipi ile 1,5 satır aralığında ve her iki yana yaslı şekilde yazılmalıdır. Ana bölüm başlıkları numaralandırılmalı, kelimelerin ilk harfleri büyük olmalı ve **koyu (bold)** karakterde yazılmalıdır. Ana bölüm başlığından sonra 1,5 satır aralıklı bir satır boşluk bırakılarak metne geçilmelidir. Başlıkla üst metin arasında da bir satır boşluk bırakılmalıdır. Paragraflar 1 cm içeriden başlamalıdır. Paragraflar arasında boşluk bırakılmamalıdır.

Bu bölümde çalışmayla ilgili yeterli literatür taraması verilmeli, çalışmanın amaçları ve literatürdeki yeri vurgulanmalıdır. Detaylı literatür incelemesinden ve sonuçların özetinin verilmesinden kaçınılmalıdır.

Materyal ve Metot bölümünde çalışmada kullanılan materyal ve metotlar detaylı ve açık bir şekilde anlatılmalıdır.

Şekiller grafik, diyagram fotoğraf, resim, harita olabilir. Şekil yazısı şeklin alt kısmına yazılmalıdır. Hem şekil hem de şekil yazısı sayfaya ortalanmalıdır. Şekil yazılar okunaklı olmalıdır. Şekil ile üst metin arasında 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Şekil yazısı ile alt metin arasında da 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Şekil yazısı 11 punto ve tek satır aralıklı olarak yazılmalıdır. Şekil yazılarına atıfta bulunulmalıdır.

Tablolar açık çerçeveli tercih edilebilir. Tablo yazısı tablonun üst kısmına yazılmalıdır. Hem tablo hem de tablo yazısı sayfanın soluna hizalanmalıdır. Tablo yazısı ile üst metin arasında 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Tablo ile alt metin arasında 1 satır boşluk bırakılmalıdır. Tablo yazıları tercihen

11 punto ile ya da 10 punto ile yazılmalıdır ve tek satır aralığı seçilmelidir. Tablo yazılarına atıfta bulunulmalıdır.

Denklem ekleme ihtiyacı duyulduğunda denklemler sırasıyla 1'den başlanarak numaralandırılmalıdır. Denklem paragraftan başlanarak yazılır. Denklem numarası sağ kenara yerleştirilmelidir. Denklem ile metin arasında üstten ve alttan bir satır boşluk bırakılır. Denklemler resim formatında olmamalıdır.

Bulgular ve Tartışma bölümünde çalışma sonucunda elde edilen bulgular verilmelidir. Elde edilen bulgular ile ilgili literatür çalışmaları yapılarak karşılaştırmalar yapılabilir.

Sonuçlar ve Öneriler bölümünde çalışmadan elde edilen sonuçlar verilmelidir. Okuyucular için öneriler ve görüşler belirtilebilir.

Teşekkür kısmında çalışmada yardımcıları ya da destekleri bulunan kişi veya kişilere ya da kurumlara teşekkür edilebilir.

Yazarların makaleye olan katkıları belirtilmelidir. (Örneğin: Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.), (Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.), (Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.)

Kaynaklar 11 punto yazı büyüklüğünde Times New Roman yazı tipi ile tek satır aralığında yazılmalıdır. Kaynaklar yazar soyadına göre (alfabetik sıralama) dizini hazırlanmalıdır ve sayfanın sol kenar boşluğu hizasından başlanarak yazılmalıdır. Metin içindeki literatür açıklamaları soyadı ve tarih verilme suretiyle (Soyadı, 2017), (Soyadı ve Soyadı, 2017) şeklinde düzenlenmelidir. İki den fazla yazar olması durumunda birinci yazardan sonra "ark." kısaltılması yapılmalıdır (Soyadı ve ark., 2017). Birden fazla kaynak belirtilmek istendiğinde bunlar noktalı virgül ile ayrılmalıdır (Soyadı, 2017; Soyadı ve Soyadı, 2017). Kaynaklar APA formatından esinlenerek hazırlanmıştır.

#### **Periyodik yayınlar:**

Soyadı, A., Soyadı, B. B. ve Soyadı, C., (2017). Yayınlanan Makalenin Adı. *Makalenin Yayınlandığı Dergi Adı*, 7(1), 1-12.

#### **Kitaplar:**

Soyadı, A. A., (2017). *Kitap adı*. Kitabın basıldığı yer: Yayınevi.

#### **Sempozyum, Kongre, Bildiri:**

Soyadı, A., Soyadı, B. B. ve Soyadı, C., (2017, Ay). Yayınlanan Bildirinin Adı. *Bildirinin Yayınlandığı Sempozyum, Kongre, Toplantı ya da Konferans Adı* (s. 1-12). Şehir: Varsa Üniversite veya Kuruluş.

#### **Tez:**

Soyadı, A. A., (2017). *Yüksek Lisans veya Doktora Tezinin Adı*. Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun.

#### **Diğer Kaynaklar:**

Hallam, A. Duality in consumer theory [PDF document]. Retrieved from Lecture Notes Online Web site: <http://www.econ.iastate.edu/classes/econ501/Hallam/index.html>  
URL-1: <http://www.giresun.edu.tr>, (Erişim Tarihi: 22 Mart 2017).

# THE BLACK SEA JOURNAL OF SCIENCES

## AUTHOR GUIDELINES

The abstract section should highlight the research in question's novelties and fundamental findings. Both the Turkish and English versions of the abstracts should be single spaced, and should be written in Times New Roman with a 10 pt font size. Abstracts should be no more than 200 words in length. Both versions of the abstract together should not exceed one (1) page in length. Number of keywords should be no less than 3, and no more than 6.

The page structure of the paper should be A4 size (210x297mm) and all margins should be 2 cm. Both Turkish and English titles should be appropriate for the topic of the paper, should describe the purpose of the paper and its conclusion and should be short and simple. The title of the paper should be in bold, with initials large and centered and 14 pt Times New Roman font. The Turkish title in the English papers should be given before the Turkish abstract. Author names are written side by side under the heading, without abbreviation (surnames in capital letters). Abbreviations should not be used in addresses. Numerical overhead indices should be used for authors with different addresses. Names of the authors should be Times New Roman 12 pt. and addresses should be Times New Roman 10 pt and flat. Appellations should not be written before names. In addition, the corresponding author's e-mail address should be written in 10 pt Times New Roman font in Corresponding Author.

The main text should be typed in Times New Roman font with a font size of 12 pt and lines spacing of 1.5. Main headings should be numbered and written in bold, and the initial letter of each word within the heading should be capitalized. A single 1.5-sized line spacing should be left underneath each main heading. A single line spacing should also be left between the heading and the text preceding it. Paragraphs should be indented by 1 cm. Spacing should not be left between paragraphs.

An adequate number of academic/scientific literature relating to the research in question, as well the overall aims of the research should be provided and emphasized within this section. Here, one should avoid detailed examining the literature as well as should avoid summarizing any results.

Materials and methodology used in the conducting of the research need to be described in detail in this section.

Figures can entail graphics, diagrams, photographs, illustrations, and/or maps. Figure descriptions should be written at the bottom of or below the figure(s), and should be legible. A single line space should be left between the figure and the text preceding it. Figure descriptions should be typed in a point-size of 11, as well as should be referenced.

Tables preferably should be open framed. Table descriptions should be written at the top of or above table. Both the table and the table description should be aligned on the left of the page. A single line space should be left between the table and the text preceding it. Table descriptions preferably should be single-spaced and written in either 11 or 10 pt. font, as well as should be referenced.

Equations—where needed—should be numbered from 1 and onwards. Equations are written starting with/following the paragraph. The equation number should be placed on the right edge. A single line spacing should be left between the equation and both the preceding as well as subsequent text. Equations should not be presented in the format of an image.

In Findings and Discussion Section, the results of as well as the findings obtained from the research in question are provided in this section. Here, one can compare and contrast the obtained findings with other relevant academic/scientific literature.

The conclusions of the results obtained from the research in question are given in this section. Here, one can provide readers with suggestions and personal comments.

Acknowledgements section is where one can acknowledge and thank the individuals and/or institutions who helped with and supported the author(s) with her/his/their research.

Contribution of the authors to the article should be indicated. (For example: All authors contributed equally to the study.), (There is no conflict of interest between the authors.), (The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.)

The references should be typed in Times New Roman font with a size of 11 pt font in single line spacing. Bibliographic resources should be arranged in alphabetical order according to the surname(s) of the author(s), and should be written starting from the left corner margin of the page. References to citations within the text should include the author's surname and the year of publication in parenthesis: (Surname, 2017), (Surname and Surname, 2017). In situations whereby a citation reference involves more than two authors, the abbreviation "et al." is to be written after the first author's surname: (Surname et al., 2017). In case of citing more than one resource, surnames and dates are to be separated using semicolons: (Surname, 2017; Surname and Surname, 2017). References should be prepared according to APA (American Psychological Association) Style format.

**Periodicals:**

Surname, A., Surname, B. B., and Surname, C., (2017). Title of the Published Paper. *Name of the Journal that the Paper is Featured/Published in*, 7(1), 1-12.

**Books:**

Surname, A. A., (2017). *Book title*. Location of where the book was published: Publisher.

**Symposiums, Congresses, Presentations:**

Surname, A., Surname, B. B., and Surname, C., (2017, Month). Title of the Published Presentation. *Name of the Symposium, Congress, Meeting or Conference that the Presentation was delivered at*. (pp. 1-12). City: University or Institution (If available).

**Theses and Dissertations:**

Surname, A. A., (2017). *Title of the Graduate or Doctoral Thesis/Dissertations*. Graduate Thesis, Giresun University, Institute of Natural Sciences, Giresun.

**Other Resources:**

Hallam, A. Duality in consumer theory [PDF document]. Retrieved from Lecture Notes Online Web site:  
<http://www.econ.iastate.edu/classes/econ501/Hallam/index.html>

URL-1: <http://www.giresun.edu.tr>, (Date Accessed: 22 Mart 2017).

# Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi (KFBD)

## The Black Sea Journal of Sciences

Giresun Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Güre Kampüsü, GİRESUN  
Telefon: 0 454 310 10 87-88 Faks: 0 454 310 10 89 E-posta: kfbd@giresun.edu.tr  
ISSN: 2564-7377 (Online) <http://dergipark.gov.tr/kfbd>

### TELİF HAKKI DEVİR SÖZLEŞMESİ

**Makale Adı** :

**Makalenin yazarları** :

**Sorumlu Yazar;**

**Adı Soyadı** :

**Adresi** :

**T.C. Kimlik No** :

**E-posta** :

**Telefon** :

Sunulan makalenin sorumlu yazarı tüm yazarlar adına aşağıdaki konuları taahhüt eder:

- Bu makale tarafım(ız)dan yapılmış özgün bir çalışmadır ve makalede intihal yapılmamıştır.
- Bu çalışma için yazar(lar) her türlü sorumluluğa ortakdır.
- Bu makale başka bir yerde yayınlanmamıştır ve yayınlanmak üzere sunulmamıştır.
- Yazar(lar) makaleyi görmüş ve onaylamıştır.
- Makalede bulunan materyaller, diğer şahısların telif haklarını ihlal etmemektedir.
- Makale etik kurallara uygundur ve belirtilen materyaller ve yöntemler kullanıldığında herhangi bir zarara ve yaralanmaya neden olmayacaktır.
- Telif hakkı ihlali durumunda tüm sorumluluk yazar(lar)a aittir.

Yazar(lar) makalenin telif hakkından feragat etmeyi kabul ederler. Makalenin telif hakkı Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi'ne devredilmiştir.

Makalenin tüm yazarlarından makale ile ilgili tüm mali hakları Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi'ne devretme hususunda yetki aldığımı ve bu nedenle doğabilecek tüm uyuşmazlıklardan sorumlu olacağımı taahhüt ederim.

Makaleye ait tüm materyaller, bilim ve yayın kurulunca bir yıl süreyle saklanacak ve daha sonra imha edilecektir. Bu belge sorumlu yazar tarafından ıslak imza ile imzalanmalıdır.

**Sorumlu Yazar Adı Soyadı:**

**İmza / Tarih:**

# **Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi (KFBD)**

## **The Black Sea Journal of Sciences**

Giresun University Institute of Natural Sciences Güre Campus, GİRESUN  
**Phone:** 0 454 310 10 87-88 **Fax:** 0 454 310 10 89 **E-mail:** kfbd@giresun.edu.tr  
ISSN: 2564-7377 (Online) <http://dergipark.gov.tr/kfbd>

### **AGREEMENT FOR THE TRANSFER OF COPYRIGHT**

**Title of Paper** :

**Authors' Names** :

**Corresponding Author;**

**Full Name** :

**Address** :

**Identity Number** :

**E-mail** :

**Telephone** :

The corresponding author of the submitted manuscript undertakes on behalf of all authors for following issues:

- This manuscript is an original work done by us and is not plagiarized.
- The author(s) are responsible for all kinds of responsibilities for this study.
- This article has not been previously published and is not under consideration by another journal.
- The author(s) has seen and confirmed the article.
- The material contained in the article does not infringe the copyrights of other persons.
- The article is suitable for ethical rules. The use of the specified materials and methods will not cause any damage or injury.
- In the event of copyright infringement, all responsibility belongs to the author(s).

The authors agrees to disclaim the copyright of the article. The copyright of the manuscript has been transferred to The Black Sea Journal of Sciences.

I undertake to authorize from all authors of the article to transfer all financial rights related to the study to The Black Sea Journal of Sciences, and to be liable for all incidences arising from this.

All materials belonging to the study will be kept for one year at the time of the science and publishing committee and will be destroyed later. This document must be signed by the corresponding author with a wet signature.

**Corresponding Author Full Name:**

**Signature / Date:**



# KARADENİZ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ

## Etik İlkeler ve Yayın Politikası

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi Mart, Haziran, Eylül ve Aralık aylarında olmak üzere yılda dört kez yayımlanan hakemli akademik bir dergidir.

Gönderilecek eserlerde; alanında bir boşluğu dolduracak özgün bir araştırma makalesi olması şartı aranır.

Dergimizde hakemlerin ve yazarların birbirlerine karşı kimliklerinin gizli tutulduğu çift taraflı kör hakem sistemi kullanılır. Yazarlar ve hakemler, kimliklerinin gizli kalması için gayret göstermelidir. Bu amaçla sisteme dosya gönderen yazar, editör, hakem gibi kişilerin metin ve dosyaları sisteme yüklerken dikkat etmeleri gerekir.

Yayın Kurulu, dergiye gönderilen eserlerin öncelikle yayın ilkeleri ile dergi kapsamı, bilimsel içerik ve şekil açısından inceler. Ön incelemeden geçen eserler değerlendirilmesi amacıyla en az 2 hakeme gönderilir. Eserin dergiye kabul edilebilmesi için 2 hakemden de olumlu değerlendirme alması gerekir. Gerektiği durumlarda 3. hakemden de değerlendirme sürecine katkı sağlaması istenebilir. Son karar editöre aittir.

Yayınlanmak üzere gönderilen makaleler ayrıca intihal tespitinde kullanılan özel bir program aracılığıyla makalelerin daha önce yayımlanmamış olduğu ve intihal içermediği teyit edilir.

Kabul edilen eserin yayınlanma süreci, eserin alındığı tarihten itibaren 2-6 ay sürmektedir.

Dergiye makale gönderimi ücretsizdir. Yayına kabul edilen makaleden de hiçbir ücret talep edilmez.

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi, hakemli ve açık erişim politikasını benimsemiş bir dergidir. Bu bağlamda, Budapeşte Açık Erişim Hareketine (BOAI) taraftır. BOAI'ye göre Açık Erişim, "hakem değerlendirmesinden geçmiş bilimsel literatürün, internet aracılığıyla; finansal, yasal ve teknik engeller olmaksızın, serbestçe erişilebilir, okunabilir, indirilebilir, kopyalanabilir, dağıtılabilir, basılabilir, taranabilir, tam metinlere bağlantı verilebilir, dizinlenebilir, yazılıma veri olarak aktarılabilir ve her türlü yasal amaç için kullanılabilir olması"dır.

Dergimize gönderilen akademik çalışmalardaki intihalleri tespit etmek amacıyla İntihal Tespit Programları kullanılır. Dergimize makale gönderen yazarlar etik ihlal yapmadıklarını beyan etmiş sayılırlar. İntihal yaptığı tespit edilen yazarların eserlerine dergimizde yer verilmez. Bu konuyla ilgili rapor yazara gönderilir.

Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi yazarlardan makale değerlendirme ve yayın süreci için herhangi bir ücret talep etmemektedir.

Bu dergi, iştirak eden kütüphanelerin dağıtılan arşivleme sistemi yaratması amaçlı, kütüphanelerin koruma ve restorasyon amaçlı kalıcı arşivler yaratmasına izin vermek için LOCKSS sistemi kullanmaktadır.

Bu dergide makalelerini yayımlayan yazarlar aşağıdaki şartları kabul etmiş bulunmaktadır:

Yazar makale telif hakkını elinde tutar ve ilk yayımlama hakkını dergiye verir. Makale, yazarının belirtilmesi ve ilk yayımının bu dergide yapılması koşuluyla diğerleri tarafından paylaşılmasına olanak veren Creative Commons Attribution lisansı altında lisanslanır.

Yazar, makalenin dergide yayımlanmış versiyonunun tam yetki vermeden dağıtımını (örneğin, kurumsal bir veri bankasına gönderilmesi ya da bir kitapta yayımlanması) için ayrı sözleşme düzenlemeleri yapabilir.

Yazarların makalelerini dergiye göndermeden önce ya da gönderi süreci devam ederken internet üzerinden (örneğin, kurumsal veri tabanında ya da kendi web sitelerinde) paylaşımları teşvik edilir; bu, hem verimli fikir alışverişlerine hem de makalenin daha erken ve daha çok atıf almasına yol açabilir (bakınız Açık Erişimin Etkisi).

# THE BLACK SEA JOURNAL OF SCIENCES

## Ethical Principles and Publication Policy

The Black Sea Journal of Sciences is a peer-reviewed academic journal that is published four times a year in March, June, September and December.

Prospective papers are expected to fill a gap in their respective field through innovative research.

Our journal employs a bilateral blind review system in which the personal identities of the reviewers and authors are kept confidential from one another, and whereby the parties involved are expected not to reveal themselves. With this objective in mind, parties submitting the file in question to the system such as the author, editor, and/or reviewer must handle the uploading of those files to the system with utmost care and attention.

The publishing team first examines (the) prospective papers in accordance with the criteria of the journal's scope, as well as for scientific content and format. After the pre-review step, the papers are forwarded to at least two reviewers for evaluation. In order for a paper to be accepted, it must receive positive evaluations from both reviewers. Papers can be requested to be reviewed again if needed and evaluation of a third reviewer should necessity warrant it. The final decision is made by the editor.

Papers that are to be submitted for publishing are first controlled using special detection software in order to verify that they have not been previously published elsewhere, as well as to ensure that they do not include any plagiarized content.

Publishing takes between 2 to 6 months from the acceptance date.

The publishing or evaluation of manuscripts are free of charge.

The Black Sea Journal of Sciences is an open access journal which means that all content is freely available without charge to the user or his/her institution. Users are allowed to read, download, copy, distribute, print, search, or link to the full texts of the articles in this journal without asking prior permission from the publisher or the author. This is in accordance with the BOAI definition of open access.

Academic research submitted to our journal is run through plagiarism detection software in order to check for any possible plagiarized content. Authors are expected as they declare that their work do not include any plagiarism. A report regarding this issue is sent to the authors.

The publishing or evaluation of manuscripts are free of charge.

This journal makes use of the LOCKSS system, which allows participating libraries to create a distributed digital archiving system, as well as allowing libraries to develop permanent archives for the purposes of protection and restoration.

An author's paper is entitled to copyright protection, and is to give her/his copyright to the journal upon its first initial publishing. One's paper is licensed under the Creative Commons Attribution License, which enables it to be shared by others via permission from the author as well according to the terms and conditions laid out by this journal upon (the paper's) first initial publishing.

The author is entitled to have a separate contract drawn up in which allows for her/his paper as it is published in our journal to be distributed without providing full authorisation (e.g., a paper's being sent to the databank of an institution, or for its being published in a book, etc.)

Authors are encouraged to share their share their papers via the internet either before they submit their work to our journal or as they wait through the submission process (e.g., to an institutional database or via their own personal websites, etc.). In doing so, this allows both for a fruitful exchange of ideas and feedback, as well as allows for the paper to be earlier as well as more widely referenced (see: The Effects of Open Access).